

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Departamento de Prehistoria



**LA FONTETA (GUARDAMAR DEL SEGURA,
ALICANTE) Y LA METALURGIA FENICIA DE ÉPOCA
ARCAICA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Martina Renzi

Bajo la dirección de los doctores

Ignacio Montero Ruiz
Teresa Chapa Brunet

Madrid, 2013

LA FONTETA (GUARDAMAR DEL SEGURA, ALICANTE) Y LA METALURGIA FENICIA DE ÉPOCA ARCAICA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Martina Renzi



Tesis doctoral – 2012
Universidad Complutense de Madrid

Curso de Doctorado en “Estrategias de Investigación en Prehistoria”

Año Académico 2011-2012

Facultad de Geografía e Historia

Departamento de Prehistoria



**La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante) y la metalurgia
fenicia de época arcaica en la Península Ibérica**

**La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante) and the Phoenician metallurgy of
the archaic period in the Iberian Peninsula**

Tesis doctoral con mención “Doctor Europeo” presentada por

Martina Renzi

Director: Dr. Ignacio Montero Ruiz

Tutora: Dra. Teresa Chapa Brunet

Madrid 2012

Diseño de cubierta: Fran Herbelo Hermelo

Fotografía de cubierta: Escoria de hierro F41524 de La Fonteta, siglo VIII a.C. (M. Renzi)

RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio de parte del amplio conjunto de materiales arqueometalúrgicos encontrados en el yacimiento fenicio de La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante), cuya secuencia ocupacional abarca desde la primera mitad del siglo VIII hasta mediados del siglo VI a.C.

Se han estudiado los subproductos resultantes de los distintos tipos de metalurgia llevados a cabo en el yacimiento: en particular, residuos de la producción de metales de base cobre –para la obtención tanto de cobre sin alear como de bronce binario y ternario–, de las metalurgias del plomo, plomo-plata y cobre-plomo-plata, y subproductos de la metalurgia del hierro. Entre estos materiales, destaca la significativa cantidad de escorias encontradas así como el abundante número de fragmentos de cerámica técnica, ya que se recogieron más de 400 restos de toberas de distinta tipología y más de 200 fragmentos de vasijas de uso metalúrgico, destinadas tanto a la reducción de minerales (vasijas de reducción) como a la fundición de metal (crisoles). Además, se han encontrado más de 60 fragmentos de moldes líticos, fabricados en piedra arenisca y en gran parte de los casos utilizados para la elaboración de lingotes-hacha.

Una selección de estos materiales arqueometalúrgicos ha sido investigada mediante la aplicación de distintas técnicas analíticas; en particular, se ha aplicado la espectrometría por fluorescencia de rayos X (ED-XRF) para determinar la composición elemental de los objetos metálicos y para obtener una primera caracterización de la composición de los otros materiales a estudiar; la microscopía óptica y las metalografías se han utilizado sobre todo para examinar la microestructura de los elementos metálicos; y la microscopía electrónica de barrido acoplada a un microanalizador (SEM-EDX) se ha empleado para la observación y análisis de composición de áreas concretas de la gran mayoría de las muestras seleccionadas. Asimismo, se han utilizado los análisis de los isótopos del plomo para intentar determinar la procedencia de los recursos minerales o de los metales empleados y así aclarar las dinámicas comerciales de los fenicios durante la época objeto de nuestro estudio.

Los resultados obtenidos aportan nuevos datos, a menudo inéditos, que son de suma importancia para la caracterización de la tecnología metalúrgica en el periodo de transición entre el Bronce Final y la I Edad del Hierro, destacando el papel de los colonos en la introducción de algunas innovaciones tecnológicas, como el uso de la

copelación para la producción de plata, la introducción de la licuación para extraer plata de los minerales cupro-argentíferos –una técnica que no había sido documentada antes– y la introducción de la tecnología de hierro. Igualmente, en La Fonteta se ha documentado que la importación de minerales era predominante sobre la comercialización de lingotes, cuya circulación se ha considerado tradicionalmente como el principal recurso para la producción de metal en la antigüedad. Sin embargo, la importación de minerales tuvo que coexistir con el comercio de metal del cual también hay evidencia en el yacimiento, según indica la presencia de dos fragmentos de lingotes de cobre cuya composición elemental sugiere que no fueron producidos *in situ*.

ABSTRACT

In this thesis we present research on part of the large group of archaeometallurgical materials found at the Phoenician site of La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante), whose chronology spans from the first half of the 8th century to the mid-6th century BC.

Sub-products resulting from different types of metallurgy carried out at the site were studied: debris of copper-based metallurgy – for obtaining non-alloyed copper, binary and ternary bronzes –, of lead, silver-lead and copper-silver-lead production, and debris of iron metallurgy. Among these materials the abundance of slags and of technical ceramics stands out. More than 400 tuyeres of different typologies and more than 200 fragments of metallurgical vessels, used both for smelting ores (smelting crucibles) and melting metals (crucibles), were also recovered. Furthermore, approximately 60 fragments of limestone moulds were identified and, in most cases, were used for manufacturing ingot-axes.

Sample sets of these archaeometallurgical materials found at La Fonteta were studied using various analytical techniques. In particular, X-ray fluorescence spectrometry (ED-XRF) was used to determine the elemental composition of the metal items and to obtain a preliminary characterisation of the composition of the other types of materials studied. Optical microscopy and metallographies were used mainly to examine the microstructure of metallic items, while electron scanning microscopy connected to a microanalyser (SEM-EDX) was employed on the majority of selected samples in order to observe and analyse the composition of concrete areas. Lead isotope analyses (LIA) were also used to determine the provenance of mineral resources and the metals exploited at La Fonteta, and in order to clarify the commercial dynamics of the Phoenicians during the chronological period relevant to this study.

The results obtained provide new and important data, often unprecedented, for the characterisation of metallurgical technology in the transition period between the Late Bronze Age and the Early Iron Age. Phoenician technological innovations play a significant role in this transition, specifically the use of cupellation for producing silver, the introduction of the liquation process to extract silver from cupro-argentiferous ores – a technique that has not been documented so far – and the introduction of iron.

Furthermore, at La Fonteta it has been documented that ore importation was more dominant than the ingot trade, a practice commonly accepted as the main source for metal production in Antiquity. However, the importing of these minerals had to coexist with metal trading, which is indicated by the presence at La Fonteta of two copper ingots fragments whose elemental composition suggests they were not produced *in situ*.

INDICE

Presentación.....	7
1. Estado de la cuestión.....	15
1.1 Los fenicios y los metales en las fuentes literarias.....	15
1.2 Las evidencias metalúrgicas en época fenicia.....	20
1.2.1 Huelva y su provincia	23
1.2.2 Cádiz y el Castillo de Doña Blanca.....	46
1.2.3 Las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén	51
1.2.4 Málaga y su provincia.....	67
1.2.5 La provincia de Almería.....	80
1.2.6 El Levante meridional.....	83
1.2.7 El Levante centro-septentrional y las Islas Baleares.....	89
1.2.8 El área portuguesa.....	93
2. La colonia fenicia de La Fonteta: un taller metalúrgico de época arcaica.....	107
2.1 Introducción.....	107
2.2 Las evidencias arqueometalúrgicas.....	120
2.3 La articulación territorial de La Fonteta: el Castillo de Guardamar y el Cabezo Pequeño del Estano.....	140
3. Metodología de la investigación.....	147
3.1 Introducción.....	147
3.2 Espectrometría por fluorescencia de rayos X (XRF).....	149
3.3 Preparación de muestras para estudios microscópicos.....	154
3.4 Los estudios metalográficos.....	157
3.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	161
3.6 Análisis de los isótopos del plomo (LIA).....	166

4.	La metalurgia de base cobre.....	175
4.1	La metalurgia del cobre.....	175
4.1.1	Las escorias de cobre de La Fonteta	176
4.1.2	Estudio comparativo y discusión.....	183
4.2	La metalurgia del bronce	189
4.2.1	Las escorias de bronce de La Fonteta.....	194
4.2.2	Estudio comparativo y discusión.....	198
4.3	Los restos de fundición de La Fonteta.....	208
5.	La metalurgia de la plata.....	213
5.1	Introducción.....	213
5.2	La metalurgia de plomo-plata de La Fonteta.....	220
5.2.1	Los minerales.....	220
5.2.2	Los goterones de plomo.....	222
5.2.3	Litargirio y copelas.....	224
5.2.4	Estudio comparativo y discusión.....	229
5.3	La metalurgia de cobre-plata-plomo de La Fonteta.....	237
5.3.1	Escorias de cobre-plomo.....	238
5.3.2	Escorificaciones de cobre-plomo.....	239
5.3.3	Copelas cobre-plomo.....	240
5.3.4	Restos de fundición de cobre-plomo.....	245
5.3.5	Estudio comparativo y discusión.....	246
6.	La metalurgia del hierro.....	251
6.1	Introducción.....	251
6.2	La metalurgia del hierro de La Fonteta.....	258
6.2.1	Los minerales.....	258
6.2.2	Las escorias.....	261
6.2.2a)	Las escorias de reducción.....	265
6.2.2b)	Las escorias de post-reducción.....	274
6.2.3	Los microresiduos de forja: laminillas y globulitos.....	283
6.2.4	Estudio comparativo y discusión.....	287

7.	Las toberas.....	303
7.1	Introducción.....	303
7.2	Las toberas de La Fonteta.....	307
7.2.1	Clasificación de los tipos de tobera.....	308
7.2.1a)	Toberas cilíndricas.....	309
7.2.1b)	Toberas corniformes.....	313
7.2.1c)	Toberas de sección en D.....	315
7.2.1d)	Toberas prismáticas.....	318
7.2.1e)	Las boquillas de soplado.....	324
7.2.2	Distribución por fases.....	325
7.3	Funcionalidad de las toberas.....	327
7.3.1	Estudio analítico de las toberas de La Fonteta.....	327
7.3.1a)	Análisis por ED-XRF.....	327
7.3.1b)	Análisis por SEM-EDX.....	329
7.3.2	Las toberas en otros contextos.....	333
7.3.3	Discusión.....	335
8.	Las vasijas cerámicas de uso metalúrgico.....	339
8.1	Introducción.....	339
8.1.1	Las vasijas de reducción.....	340
8.1.2	Los crisoles.....	344
8.1.3	Comparación entre vasijas de reducción y crisoles.....	347
8.2	Las vasijas de uso metalúrgico de La Fonteta.....	349
8.2.1	Selección de algunos fragmentos de vasijas de uso metalúrgico: una propuesta tipológica.....	351
8.2.2	Las escoriificaciones en las vasijas de uso metalúrgico de La Fonteta: estudio analítico.....	377
9.	Los moldes.....	397
9.1	Introducción.....	397
9.2	Los moldes de La Fonteta.....	401
9.2.1	Los moldes líticos.....	401
9.2.2	Los moldes de arcilla.....	423

10. Los elementos metálicos.....	429
10.1 Los objetos de base cobre.....	429
10.1.1 Los cobres sin alear.....	431
10.1.2 Los bronce binarios.....	437
10.1.3 Los bronce ternarios y las aleaciones cobre-plomo.....	449
10.1.4 Discusión y estudio comparativo.....	456
10.1.5 Los lingotes-hachas.....	465
10.2 Los objetos de plomo.....	480
10.2.1 Los ponderales.....	485
10.3 Los objetos de hierro.....	491
10.3.1 Los <i>obeloi</i> o asadores.....	510
10.3.2 Un objeto de hierro-níquel: ¿hierro meteórico o terrestre?.....	524
 11. Lead Isotope analyses: a study of provenance.....	535
11.1 Selection of the samples.....	535
11.2 Geological framework.....	537
11.3 Discussion of the results.....	541
11.4 Technological interpretation of the samples.....	551
11.5 Final discussion.....	553
 12a. Conclusiones.....	557
12b. Conclusions.....	571
 Bibliografía.....	583

ANEXOS EN CD ADJUNTO

1. FICHAS ANALÍTICAS DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS POR SEM-EDX
2. TABLA RESUMEN DE LOS ANÁLISIS ELEMENTALES POR ED-XRF

Presentación

Esta Tesis Doctoral ha sido el resultado de toda una serie de circunstancias, casi siempre favorables, que han permitido la realización de una investigación profunda y global sobre la metalurgia de época fenicia arcaica (VIII-VI a.C.), a partir del análisis de un amplio conjunto de materiales procedentes del yacimiento fenicio de La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante). En dicho yacimiento se detectaron áreas metalúrgicas y restos de actividades para la producción de todos los metales más utilizados en la época, tales como el cobre y sus aleaciones, el plomo, la plata y el hierro.

Todo empezó durante una estancia de estudio en la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona, en el año 2000, para la realización de mi Tesina de Licenciatura italiana (*Tesi di Laurea*), cuando la Prof. Dra. María Eugenia Aubet me ofreció la posibilidad de participar en una campaña de excavación en el yacimiento de La Fonteta, dirigida por entonces por el Prof. Dr. Alfredo González Prats de la Universidad de Alicante. La singularidad de esta ciudad portuaria fenicia situada en la desembocadura del río Segura, con un registro arqueológico y un estado de conservación excepcionales, fueron motivos muy atractivos que me impulsaron a seguir colaborando con el equipo de arqueólogos de dicho proyecto durante tres campañas sucesivas. La amabilidad y disponibilidad de todos ellos, en paralelo, hicieron que mi entusiasmo y dedicación a dicha tarea fueran enormemente enriquecedores. En el año 2002, cuando terminan las investigaciones en el yacimiento por problemas burocráticos diversos, el director de la excavación me propuso encargarme del estudio de los materiales metalúrgicos allí encontrados.

Debido a la ingente cantidad del registro material recogido, dicho trabajo requeriría inicialmente de una dedicación a tiempo completo, así como una formación específica y compleja en la materia. Por ello, después de un breve periodo de aprendizaje inicial con el Prof. Dr. Salvador Rovira, entonces Conservador Jefe del Museo Arqueológico Nacional de Madrid, decidí solicitar una beca de Formación de Profesorado Universitario (beca FPU), del Ministerio de Educación y Ciencia, para la realización en la Universidad de Alicante de una Tesis Doctoral sobre la metalurgia de La Fonteta.

Gracias a la concesión de esta beca en el año 2003 pude realizar mis cursos de Doctorado en el Programa de “Antigüedades” de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Alicante, y conseguir el Diploma de Estudios Avanzados (DEA) en diciembre de 2005. Durante estos primeros dos años de beca e investigación, mi labor fundamental se dirigió a la limpieza, catalogación y selección de los materiales arqueometalúrgicos del yacimiento. Contemporáneamente, disfruté de una ayuda de estancias breves para becarios del programa FPU, centrada en el “Aprendizaje de Nuevas Técnicas Instrumentales”, en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, donde pude continuar mi formación arqueometalúrgica con el Prof. Dr. Salvador Rovira.

Ahondando en el campo de la investigación arqueométrica, una vez completados el inventario y la selección de los materiales a estudiar, se hizo cada vez más patente, por las características y el interés de las muestras, la necesidad de realizar un estudio analítico exhaustivo, que permitiera extrapolar toda la información necesaria para una correcta interpretación del tipo de operaciones metalúrgicas que se llevaron a cabo en el yacimiento de La Fonteta.

Esta mayor dedicación a la aplicación de técnicas instrumentales, requerida para la realización del trabajo, me llevó a solicitar un traslado de beca a Madrid, donde podía contar con laboratorios especializados en la materia y con la supervisión directa del Prof. Dr. Salvador Rovira. Tal decisión me obligó no solamente a cambiar el centro de adscripción de la beca FPU, sino también a solicitar un cambio de director de Tesis, ya que el nuevo enfoque del trabajo –de tipo principalmente arqueométrico– necesitaba de un seguimiento más especializado que el Prof. Dr. Alfredo González Prats no podía proporcionarme, muy a su pesar.

Fue entonces cuando empezó mi investigación supervisada por el Dr. Ignacio Montero Ruiz, Investigador Científico del Instituto de Historia del Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS) del CSIC y director de la presente Tesis. Por lo tanto, a finales del año 2005 trasladé mi expediente académico a la Universidad Complutense de Madrid, solicité un traslado de beca al Instituto de Historia y un cambio en la dirección de la Tesis, siendo tutorizada por la Dra. Teresa Chapa Brunet.

A mediados del año siguiente disfruté igualmente de otra estancia breve dedicada al “Aprendizaje de Nuevas Técnicas Instrumentales”, en el *Deutsches Bergbau Museum* (Museo Minero Alemán) de Bochum (Alemania), bajo la supervisión del Prof. Dr.

Andreas Hauptmann, que me permitió profundizar en la elección de la metodología arqueométrica más idónea a aplicar en función del tipo de material estudiado.

Cuando finalizó mi beca predoctoral en 2007, solicité una beca de ampliación de estudios en Arqueología en la Real Academia de España en Roma (beca MAE-AECI), que me fue concedida y me permitió durante un año llevar a cabo una investigación en Arqueometalurgia en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química, de los Materiales, de las Materias Primas y Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Roma “La Sapienza”, supervisada por el Prof. Dr. Mauro Cavallini.

La realización de todo el trabajo analítico efectuado para la presente Tesis ha sido posible gracias a la participación en distintos proyectos de I+D+i, todos ellos con el Dr. Ignacio Montero Ruiz como investigador principal: desde septiembre de 2005 a febrero de 2007 en el proyecto *Caracterización analítica de la producción metalúrgica protohistórica de plata en Cataluña*; desde julio 2008 hasta finales de 2010 en el de *Tecnología y procedencia: plomo y plata en el I milenio AC*; y desde enero 2011 hasta la actualidad (finalización prevista en 2013) en el proyecto *Relación entre materias primas locales y producción metalúrgica: Cataluña meridional como modelo de contraste*.

Por último, desde mayo de 2009 hasta la fecha actual, he podido mantener una vinculación laboral (contrato “por obra o servicio determinado”) con el Instituto de Historia del CCHS (CSIC) para la realización de estudios arqueometalúrgicos en el marco del Proyecto Consolider-Ingenio 2010 titulado *Programa de Investigación en Tecnologías para la conservación y valorización del Patrimonio Cultural* (TCP, 2008-2012).

A este propósito, debo mencionar también que la realización de todo el trabajo analítico llevado a cabo en esta Tesis no ha estado exento de algunas complicaciones. La ingente cantidad de restos metalúrgicos encontrados en La Fonteta, la imposibilidad de acceder a parte de ellos así como en ocasiones a la información arqueológica de su contexto de procedencia dentro del yacimiento, junto con el elevado coste que conlleva un estudio analítico exhaustivo, han obligado a seleccionar sólo un grupo reducido de materiales y a no poder aplicar las mismas técnicas de laboratorio a todas las muestras seleccionadas.

Con respecto a la estructura del trabajo que aquí se presenta, en el primer capítulo se plantea el estado de la cuestión de la metalurgia de época fenicia arcaica en la Península Ibérica, recopilando toda la información disponible sobre los hallazgos relacionados con actividades para la producción de metales en la zona de influencia fenicia. Dicha síntesis introductoria ha sido una herramienta comparativa de gran utilidad para la interpretación de los resultados obtenidos con el análisis de los materiales propios de La Fonteta.

En el capítulo siguiente se describen las estructuras y los espacios dedicados a las operaciones metalúrgicas excavados en el yacimiento, así como su asociación con los distintos materiales vinculados a ellas. Después, se ha procedido a explicar brevemente las principales técnicas analíticas empleadas para el estudio de los residuos metalúrgicos seleccionados; éstos se presentan clasificados por categorías (toberas, vasijas de uso metalúrgico, moldes y elementos metálicos) y según el tipo de metalurgia en la que se han producido (metalurgia de base cobre, metalurgia de plomo y plata, metalurgia del hierro).

El último capítulo corresponde al estudio de procedencia de una selección de muestras, de base cobre y de plomo, llevado a cabo mediante el análisis de los isótopos del plomo. Esta parte de la Tesis ha sido redactada en inglés, junto con el resumen y las conclusiones, para poder solicitar la Mención Europea en el Título de Doctor, de acuerdo con la normativa específica de la Universidad Complutense de Madrid.

Finalmente, los resultados analíticos obtenidos para cada muestra se presentan en fichas individuales en un Anexo a la presente Tesis. La interpretación de todos estos datos ha proporcionado información muy valiosa sobre el nivel tecnológico alcanzado por los fenicios, en la obtención y producción de metales durante la época arcaica de la colonización de Occidente, así como sobre las dinámicas comerciales de la época. Se trata de un trabajo hasta ahora inexistente en la bibliografía arqueológica, en el que se recoge toda la información disponible sobre las evidencias metalúrgicas registradas en los yacimientos fenicios enmarcados en el período cronológico objeto de este trabajo.

Esta visión global contribuye a determinar cuáles fueron las innovaciones técnicas aportadas por los colonos a la metalurgia ibérica y cuál fue el papel de la explotación minera, de la producción y de la comercialización de los metales, en la economía de las colonias fenicias y de las comunidades indígenas. Todos estos elementos, indudablemente, favorecieron una estrecha interacción socio-cultural entre estas poblaciones.

Para concluir el largo camino recorrido en la realización de este trabajo de Tesis Doctoral, he de señalar, como es lógico, la implicación y colaboración en él de numerosas personas que me han acompañado, seguido y guiado en este proceso personal y científico. A todas ellas quiero manifestar mi profunda gratitud, no solamente a nivel académico sino sobre todo a nivel personal. Sin ellos, sin su presencia constante, jamás lo hubiera logrado.

En primer lugar, quiero reconocer y agradecer a Alfredo González Prats su disponibilidad y su generosidad tanto científica como humana, condiciones *sine qua non* esta Tesis no se habría podido llevar a cabo de ninguna de las maneras. Me permitió trabajar en La Fonteta y estudiar los materiales allí encontrados, puso a mi disposición su casa, su laboratorio personal, sus libros y sus conocimientos, para que pudiera desarrollar adecuadamente mi trabajo.

Aunque las palabras se queden cortas, quiero agradecer a Salvador Rovira –mi guía y mi luz en el oscuro mundo de los metales– haber confiado en mis capacidades y haber tenido la paciencia y la constancia de seguir mi trabajo durante todos estos años. Sin él esta Tesis sería una mera descripción de unos materiales feos y “mudos”... ¡Y yo seguiría sin saber distinguir el cobre del hierro!

Asimismo quiero dar las gracias a mi director de Tesis, Ignacio Montero, el más paciente del mundo... Quiero destacar sobre todo su disponibilidad y su impagable saber científico. Ha sido mi motor continuo, incitándome en todo momento a seguir adelante con este trabajo a pesar de que a menudo ha resultado ser más que arduo y complejo. Además, nunca ha dejado de confiar en mí (o eso espero...), cuando ya ni yo misma era capaz de seguir adelante, cuando las circunstancias me superaban.

Quiero expresar mi agradecimiento también al Prof. Dr. Andreas Hauptmann, por acogerme en su Instituto con enorme entusiasmo, por haber compartido conmigo su experiencia y su profunda preparación científica. También quiero agradecer al director del *Deutsches Bergbau Museum* de Bochum, Dr. Rainer Slotta, y a todo el equipo del Centro de Investigación en Arqueometalurgia de ese museo, su amabilidad y simpatía durante mi estancia con ellos, pues ésta no sólo fue una fase crucial en mi trayectoria formativa, sino también una experiencia humana muy reconfortante en todos los sentidos. En particular, deseo recordar a Andreas y Simone Ludwig, Michael Bode, Michael Prange, Yosha Al-Amri, Marion Jung, Martina Behmenburg, Wolfgang Steger, y a todos los demás técnicos y compañeros que me ayudaron y apoyaron durante mi estancia (y algunos de ellos también después).

Igualmente, debo agradecer a las microscopistas Esperanza Salvador del SIdI de la Universidad Autónoma de Madrid, Marta Furió y Laura Tormo del laboratorio de Microscopía Electrónica del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC, todas las facilidades que me han proporcionado durante el desarrollo del trabajo analítico.

También quiero dar las gracias a otros investigadores –en particular a Teresa Chapa, Thilo Rehren, Dirce Marzoli, José Suárez Padilla, Mariano Torres, Carme Rovira Hortalà, Mark Hunt, Juan Miguel Pajuelo, Vicente Sánchez y Lorenzo Galindo, Alessandra Giumlia-Mair, Milagros Ros Sala, Paco Contreras, Auxilio Moreno, Pedro Aguayo y a los miembros de la Asociación Cultural “Mandrágora” (mis frailes mandragorinos)– por sus ánimos, apoyo, consejos y facilidades dadas para conocer materiales y datos inéditos. Igualmente, les debo mucho a mis compañeros del CCHS, en particular a Antonio Uriarte, Óscar García Vuelta, Marc Gener, María Cruz Berrocal, Susana Consuegra, Pedro Díaz del Río, María Sebastián, Alfonso Fraguas, José Antonio López, Enrique Capdevila Montes, Fernando Agua, Esteban Moreno, Manuel Rojo, María Paz García-Bellido, Juan Vicent, Maribel Martínez Navarrete, Alicia Perea... y un largo etcétera; sin dejar de mencionar a mis compañeros de despacho (Lourdes, Pechi, Fabián, Teresa, Javi y Ángel) que me han aguantado todo este tiempo. Espero no haber olvidado a nadie.

Parte de la documentación gráfica presentada es obra de Félix García Díez, Antonio Uriarte González y Esteban Moreno Guerrero, a quienes agradezco su disponibilidad y sugerencias sobre la mejor forma de representar los materiales dibujados.

Por último, no habría sido posible llegar a finalizar este trabajo sin la paciencia, la confianza y el apoyo incondicional de mi familia –mi madre, mi padre, mi hermana, mi abuela, Lucas, Simona y Santiago–, así como de todos mis amigos, entre los cuales le debo un agradecimiento especial a Fran Herbello Hermelo por la realización de la portada.

1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

1.1 LOS FENICIOS Y LOS METALES EN LAS FUENTES LITERARIAS

El inicio de la metalurgia constituyó una verdadera revolución para las comunidades antiguas, llegando a condicionar sus distintas fases de desarrollo no solamente desde el punto de vista tecnológico sino sobre todo desde el punto de vista social, cultural y económico. La introducción del uso de los metales en la vida cotidiana del hombre originó una importantísima serie de transformaciones, como por ejemplo la progresiva evolución de una cultura con claras señales de formas organizativas complejas (Childe 1950; Liverani 1995: 98). Además, la necesidad de aprovisionamiento de metal representó un fuerte estímulo para viajes de larga distancia, con el consecuente establecimiento de nuevas relaciones económico-sociales con otras culturas que, a lo largo de las épocas, contribuyeron a estimular la evolución social y cultural de las antiguas civilizaciones.

Ya en la Antigüedad se había tomado conciencia de las importantes transformaciones producidas por la introducción de la metalurgia en las dinámicas sociales y se emplearon los metales para distinguir las distintas fases de la estirpe humana, poniendo las bases para el que posteriormente sería conocido como el sistema cronológico “de las tres edades” y que fue formalizado por el estudioso danés C.J. Thomsen (1836). Este sistema –de acuerdo con los resultados obtenidos por las investigaciones arqueológicas, geológicas y antropológicas llevadas a cabo durante el siglo XIX, y con las modificaciones y añadiduras necesarias– todavía constituye hoy en día la base de la cronología moderna.

El mito de las edades se vincula principalmente a la figura del escritor griego Hesíodo que alrededor del 700 a.C., en su obra *Έργα καί Ημέραι*, estableció cuatro edades marcadas respectivamente por el oro, la plata, el bronce y el hierro, según la preciosidad de los metales y no por la real antigüedad de su uso. Posteriormente, en el siglo I a.C., el filósofo y poeta latín Lucrecio, en su obra *De Rerum Natura* (V, 1241-1307), utilizó los metales para designar las edades del hombre, observando cómo el uso de la piedra había precedido al del bronce y del hierro, y cómo las características de estos materiales habían influido en la evolución de las actividades agrícolas y bélicas.

También Plinio el Viejo, en el siglo I d.C., consideró que la introducción de los metales marcó un momento importante de distinción en las etapas del desarrollo cultural del hombre y atribuyó a su uso, en especial al uso de los metales nobles, una de las causas de la degeneración humana (*Historia Natural*, XXXIII, 1-2).

El metal siempre se ha considerado un símbolo de riqueza y tanto la necesidad de aprovisionamiento como el comercio de metales han sido factores muy relevantes que han contribuido a impulsar importantes fenómenos históricos, como por ejemplo los distintos procesos de colonización.

Por lo que concierne a la Península Ibérica, la gran riqueza de recursos metalíferos fue sin duda un elemento determinante para su evolución cultural e histórica, como nos documentan numerosas fuentes clásicas en las que los escritores antiguos alaban la tierra ibérica por su abundancia de metal, sobre todo por la riqueza de plata y oro. Son significativas a este propósito las palabras del historiador griego Diodoro de Sicilia (siglo I a.C.):

“Una vez que hemos expuesto los hechos referentes a los iberos, pensamos que no será inoportuno referirnos a las minas de plata que se encuentran en su país. Esta tierra, en efecto, posee, me atrevería a decir, la plata más abundante y de mejor calidad de las minas explotadas y ofrece importantes ingresos a quienes la extraen.” (*Biblioteca Histórica*, V, 35.1).¹

Y también las de Estrabón (I a.C.-I d.C.):

“Pero, a pesar de estar dotada dicha región (la Iberia) de tantos bienes, no se maravillaría uno menos, sino todo lo contrario, al conocer la generosidad de sus minas; porque de ellas está repleta toda la tierra de los iberos, aunque no toda sea tan fértil y próspera, especialmente la que proporciona minerales. Raro es gozar de ambos recursos, pero raro es también que la misma tierra esté llena de minerales diversos en un territorio reducido. La Turdetania y comarcas limítrofes no dejan, a los que quieren ensalzarlas por sus bondades, palabras que las reflejen adecuadamente. Pues ni el oro, ni la plata, ni el cobre, ni el hierro, en ningún lugar de la tierra se ha comprobado hasta ahora que se produzcan en tan gran cantidad ni de tan alta calidad.” (*Geografía*, III, 2.8).²

¹ Diodoro de Sicilia, *Biblioteca Histórica*. Libros IV-VIII. Biblioteca Clásica Gredos 328, Madrid 2004. Traducción de J.J. Torres Esbarranch.

² Estrabón, *Geografía*. Libros III-IV. Biblioteca Clásica Gredos 169, Madrid 1992. Traducción de M^aJ. Meana y F. Piñero.

Y fue esta abundancia de metales la que transformó la Península Ibérica en un dinámico escenario de contactos y relaciones comerciales entre varias civilizaciones que contribuyeron fuertemente a delinear la rica y polivalente cultura ibérica.

En particular, fue el contacto con el mundo fenicio el que marcó una etapa especialmente significativa en la historia de la Península, sobre todo por el fuerte impulso dado a las actividades mineras y a la producción de metales, que favorecieron contactos comerciales más intensos y de amplia escala. De hecho, ya muchos escritores clásicos griegos y latinos consideraron que la necesidad de aprovisionamiento de metal, en especial de plata, jugó un papel fundamental en las primeras expediciones fenicias a Occidente, mencionando en particular la importancia que tuvo el comercio de metales en la colonización de Iberia. Por ejemplo Diodoro de Sicilia, en su *Biblioteca Histórica* (V, 35.2-4), evoca las primeras navegaciones fenicias hablando de un incendio ocurrido en los bosques de España que, por el calor del fuego, habría hecho derretir verdaderos ríos de plata.

“En los libros precedentes, [...], ya hemos hablado de los montes de Iberia llamados Pirineos. [...] Cuentan que en los tiempos antiguos, cuando en estos montes había muchos bosques llenos de árboles, unos pastores dejaron un fuego e incendiaron completamente toda la zona montañosa. Por esta razón, al avivarse el fuego (pȳr) continuamente día tras día, se quemó la superficie de la tierra y los montes, a consecuencia de lo ocurrido, recibieron el nombre de Pirineos; por otra parte, la superficie de la región quemada manó una gran cantidad de plata y, puesto que se había fundido el elemento natural a partir del que se trabajaba la plata, se formaron muchas corrientes de plata pura”.³

Diodoro relaciona la etimología del nombre Pirineos con el cuento del incendio, ya que el topónimo derivaría del griego pȳr, “fuego”, de acuerdo con la etimología que ya se encontraba en la obra del historiador y filósofo griego Posidonio (*FrGrHist* 87, F 47) y fechada en los siglos II-I a.C. Pero, generalmente, la identificación de estos bosques con los montes Pirineos ha sido considerada por muchos autores un error de Diodoro (véase Aubet 1994: 242), ya que el cuento sin duda debería hacer referencia a la región de Tartessos y a su abundancia en plata.

³ Diodoro de Sicilia, *Biblioteca Histórica*. Libros IV-VIII. Biblioteca Clásica Gredos 328, Madrid 2004. Traducción de J.J. Torres Esbarranch.

Un relato similar se encuentra también en Estrabón (*Geografía*, III, 2.9). El autor, hablando de la Turdetania, cuenta que:

“Posidonio, al ensalzar el número de minas y su riqueza, no se aparta de su retórica habitual, sino que se entusiasma con las hipérboles; porque dice que no pone en duda lo que cuenta de que cuando una vez se incendiaron los bosques, la tierra, que era de plata y oro, se fundió y subió hirviendo a la superficie, porque cada monte y cada colina eran materia de moneda acumulada por un azar generoso; «al contemplar esos lugares, que son los tesoros de una naturaleza inagotable o la banca de un imperio destinado a no tener fin. Porque no solamente es rico el suelo, sino también el subsuelo, y en aquellos parajes qué verdad es que el mundo subterráneo no lo habita Hades, sino Plutón».”.⁴

Además, Diodoro de Sicilia (*Biblioteca Histórica* V, 35.4-5) cuenta que los primeros fenicios que alcanzaron España para procurarse metales nobles, sustituyeron las anclas de piedras de sus naves con anclas de plata, con el fin de llevarse consigo la mayor cantidad posible de este metal:

“A tal punto llegaba la codicia de los comerciantes que, en los casos en que los barcos estaban sobrecargados y quedaba en tierra mucha plata, eliminaban el plomo de las áncoras y lo sustituían por plata”.⁵

También en otra fuente literaria, el *De Mirabilibus Auscultationibus* (§ 135) –un tratado de autor ignoto y de cronología incierta, atribuido por algunos escritores tardoantiguos a Aristóteles– se relata cómo los fenicios solían sustituir las anclas de plomo con anclas fabricadas en plata, junto con otros objetos de uso diario.

A pesar del evidente valor anecdótico de los relatos en estas fuentes literarias, las noticias transmitidas por los autores clásicos nos documentan la importancia del abastecimiento de recursos metalíferos y del comercio de metal para el desarrollo de la colonización fenicia de Occidente, especialmente la de la Península Ibérica.

Otro elemento interesante aportado por los textos mencionados, es el testimonio de cómo estos escritores veían la forma de comerciar de los fenicios. A este propósito es nuevamente Diodoro de Sicilia quién, en su *Biblioteca Histórica* (V, 35.4-5), nos

⁴ Estrabón, *Geografía*. Libros III-IV. Biblioteca Clásica Gredos 169, Madrid 1992. Traducción de M.^aJ. Meana y F. Piñero.

⁵ Diodoro de Sicilia, *Biblioteca Histórica*. Libros IV-VIII. Biblioteca Clásica Gredos 328, Madrid 2004. Traducción de J.J. Torres Esbarranch.

proporciona un importante documento histórico, subrayando la forma poco igualitaria empleada por los mercantes fenicios para llevar a cabo las transacciones comerciales con los indígenas, consiguiendo metales preciados a bajo coste y volviendo a venderlos a lo largo del Mediterráneo, sacando buenas ganancias que les permitieron fundar varias colonias:

“Dado que los habitantes del lugar no sabían nada sobre el uso de la plata, los fenicios, que se dedicaban al comercio y se enteraron de lo ocurrido, adquirieron la plata a cambio de otras mercancías de escaso valor. Por esta razón, al transportar la plata a Grecia, a Asia y a todos los otros pueblos, los fenicios acumularon grandes riquezas. [...] y así, gracias a este comercio, los fenicios, con el pasar de los años, acrecentaron considerablemente su potencia y enviaron muchas colonias, unas a Sicilia y a las islas vecinas, y otras a Libia, Cerdeña e Iberia”.⁶

Una noticia similar se encuentra en otro pasaje del ya mencionado *De Mirabilibus Auscultationibus* (§ 135) del Pseudo-Aristóteles, en el que el autor cuenta que los fenicios navegaron hacia Tartessos exportando aceite y baratijas a cambio de una cantidad de plata tan grande que ya no podían ni recibir ni transportar más. A diferencia de los pasajes de Diodoro, en el que se habla genéricamente de las minas de plata de los íberos, en este relato se hace explícita mención a Tartessos.

Según estos autores, el origen de la prosperidad fenicia residiría en el éxito del comercio de la plata ibérica, que habría permitido la fundación de numerosas colonias en diferentes zonas del Occidente mediterráneo, como en el Norte de África, Sicilia, Cerdeña y en la Península Ibérica.

Un elemento a destacar es la mención en el texto de Diodoro de que, antes de la llegada de los fenicios, los indígenas desconocían el uso de la plata, hecho que les permitió adquirirlo a cambio de cosas de poco valor, los famosos ἄθύρματα homéricos que se han quedado indisolublemente vinculados a la idea de los comerciantes fenicios. Además las palabras de Diodoro, cuando afirma que “[...] los habitantes del lugar no sabían nada sobre el uso de la plata” –aunque las evidencias arqueológicas nos obligan a interpretarlas más allá de su significado textual–, nos hacen reflexionar sobre la posibilidad de que los fenicios aportaran nuevos conocimientos técnicos para la extracción de la plata de los minerales argentíferos, incrementando notablemente la producción de este metal. Quizás estos autores podrían estar refiriéndose al uso de los

⁶ Diodoro de Sicilia, *Biblioteca Histórica*. Libros IV-VIII, Biblioteca Clásica Gredos 328, Madrid 2004. Traducción de J.J. Torres Esbarranch.

procesos de copelación y de licuación para extraer la plata respectivamente de minerales plumboargentíferos y cuproargentíferos; pero de estas técnicas se hablará en detalle más adelante (véase el capítulo dedicado a la metalurgia de la plata, Cap. 5).

En efecto, el *floruit* de la explotación argentífera en la Península Ibérica parece coincidir, tanto en los poblados indígenas como en los fenicios, con la fase arcaica de la colonización fenicia, es decir con el periodo comprendido entre finales del siglo IX/comienzos del siglo VIII y la primera mitad del siglo VI a.C.

1.2 LAS EVIDENCIAS METALÚRGICAS EN ÉPOCA FENICIA

La explotación minera y la producción de metales han resultado ser unos de los aspectos principales que impulsaron la colonización fenicia en la Península Ibérica, ya en los primeros momentos de contacto con las poblaciones locales. De hecho, no se puede delinear un cuadro de la metalurgia en época fenicia limitándose a un análisis de las evidencias proporcionadas por los establecimientos coloniales. Para poder dibujar un cuadro general de lo que tuvo que ser ese florecimiento de las actividades metalúrgicas y el impacto socio-cultural que estas actividades produjeron en las comunidades indígenas, es imprescindible tener en cuenta también las características y el tipo de tecnología documentada en los centros minero-metalúrgicos que surgen como respuesta a esta demanda de metal entre finales del siglo IX/principios del VIII y el siglo VII a.C. en el *hinterland* de las colonias fenicias.

En gran parte de los casos, se trata de fundaciones *ex novo* originadas por el aumento de la demanda externa de metal que se produce como consecuencia de la llegada de los colonos; éstos actuaron como elemento estimulador para la instalación de varios centros en proximidad de las minas o en zonas estratégicas para el transporte y el comercio del metal, como por ejemplo en el Cinturón Ibérico de Piritas o en la Sierra Morena.

En todos estos yacimientos indígenas dedicados al aprovechamiento de los recursos metalíferos y, en muchos casos, también al procesamiento de los minerales –y que se irán examinando a lo largo de este capítulo–, se observan varios elementos que sugieren la existencia de intensas relaciones con los fenicios, especialmente evidentes en la organización de los espacios urbanos, en la arquitectura y en la cultura material. También la introducción de técnicas metalúrgicas que no han sido documentadas en la

Península en momentos anteriores a la llegada de los colonos –principalmente la copelación y la tecnología del hierro– y su rápida difusión en la mayoría de estos centros, apuntan a una fuerte influencia del elemento semita en la cultura local. En efecto, en algunos asentamientos el grado de orientalización de la sociedad es tan elevado que nos plantea la cuestión de si siempre se puede distinguir entre espacios indígenas y coloniales; además, en algunos casos –como por ejemplo en el yacimiento protohistórico de Peña Negra (Crevillente, Alicante), entre otros–, se ha documentado una coexistencia de núcleos poblacionales indígenas y fenicios establemente asentados dentro del mismo yacimiento, una situación que quizás podría haber sido más común de lo que las evidencias arqueológicas actualmente disponibles permiten apreciar.

Las investigaciones llevadas a cabo en distintas zonas de la Península Ibérica durante los últimos decenios, han proporcionado datos muy relevantes para aclarar la relación existente entre la presencia de los fenicios en el territorio peninsular y las evidencias metalúrgicas documentadas durante el periodo arcaico de la colonización.

Hasta aproximadamente los años noventa, el interés de los investigadores se centró casi exclusivamente en la zona sur-oeste de España y en la producción de la plata. El distrito minero de Riotinto, en la provincia de Huelva, fue objeto de una atención especial debido a que las activas labores extractivas modernas trajeron a la luz abundantes evidencias arqueológicas de explotaciones antiguas y, en particular, se descubrió en la Corta del Lago un amplio vertedero constituido por más de seis millones de toneladas de escorias con varios estratos de materiales de época prerromana (Blanco y Rothenberg 1981; González de Canales *et al.* 2006: 118).

Este importante hallazgo despertó el interés de numerosos estudiosos que asociaron la conspicua cantidad de residuos metalúrgicos encontrados –resultantes en gran parte del procesamiento de minerales argentíferos– con las reiteradas menciones en las fuentes antiguas de la riqueza en plata del subsuelo ibérico. De hecho, como ya se ha mencionado en la introducción a este capítulo, fue esta abundancia de recursos argentíferos, y metalíferos en general, que llevó a los escritores clásicos a la creación de varios mitos en los que se contaba de un país rico en metales nobles, Tartessos, que llegó a ser un símbolo de riqueza y prosperidad, así como ocurrió con el mito de El Dorado para los conquistadores hispánicos del siglo XVI (Aubet 1994: 182). Ya la raíz ($\alpha\rho\gamma$ -) del nombre del legendario y longevo rey de Tartessos, Argantonio, constituye una clara referencia a la importancia que tuvo la explotación del metal noble en la

creación de la leyenda de este reino, ciudad o incluso “río de las raíces de plata”⁷, según las distintas interpretaciones transmitidas por los autores antiguos que lo mencionan⁸.

El descubrimiento en los años sesenta-setenta de la necrópolis de La Joya en Huelva y los ricos ajuares encontrados en sus tumbas contribuyeron a alimentar la esperanza de varios investigadores⁹ de encontrar la principal ciudad de este mítico reino, dando lugar a numerosas intervenciones arqueológicas en toda el área onubense.

Después de los años setenta se iniciaron excavaciones y prospecciones también en otras zonas del suroeste peninsular, durante las cuales se identificaron varios centros indígenas que proporcionaron numerosos restos relacionados con actividades minero-metalúrgicas. Estos restos, en la mayoría de los casos, estaban asociados a la presencia de elementos materiales y culturales fenicios u orientalizantes, como ocurre por ejemplo en la zona de Monte Romero (Almonaster La Real, Huelva) o en la región minera de Aznalcóllar, en la provincia de Sevilla (Pellicer 1996: 119-120).

La dispersión geográfica más o menos amplia de los centros con evidencias de actividades metalúrgicas documentados durante estas intervenciones arqueológicas confirmó que la explotación minera en época prerromana no se limitaba sólo al distrito de Riotinto o de Aznalcóllar. De hecho, a pesar de la especial concentración de restos de aprovechamiento de minerales en el área onubense y en la región minera sevillana, en la época arcaica de la colonización fenicia el área interesada por la extracción metalífera tuvo que ser más amplia y articulada, incluyendo también otros distritos del sur de España, en especial Sierra Morena y las minas de las provincias de Almería, Málaga y Murcia.

Otro importante foco de explotación minera tuvo que estar situado en Portugal, sobre todo en la zona del Baixo Alentejo y en la Serra do Algarve, ya que gran parte de esta área corresponde a la continuación hacia occidente del Cinturón Ibérico de Piritas. Pero, como veremos más adelante, las evidencias arqueológicas actualmente disponibles de la práctica de actividades metalúrgicas en territorio portugués son todavía escasas.

7 El poeta griego del siglo VII-VI a.C., Estesícoro, identifica Tartessos con un río que, según la descripción geográfica que proporciona en su obra *Gerioneide* (fragmento 6a-6b), correspondería al Guadalquivir.

⁸ Para una visión general sobre el tema véase, por ejemplo, Blázquez 1993 o Álvarez 2007.

⁹ Fue sobre todo el estudioso alemán A. Schulten (1922) con su obra *Tartessos* –traducida al español por Manuel García Morente y revisada por el mismo Schulten en el año 1924– el que despertó el interés del mundo científico hacia Tartessos y su cultura. Para una historia de los estudios y una bibliografía general sobre esta cuestión véase la nota anterior.

1.2.1 Huelva y su provincia

La ciudad de **Huelva** ha sido uno de los yacimientos arqueológicos españoles que ha despertado mayor interés entre los estudiosos, en parte por el descubrimiento de la necrópolis de La Joya (Garrido 1970; Garrido y Orta 1978) y en parte por ser una de las principales localizaciones posibles para la ciudad o el reino de Tartessos, según la interpretación dada por varios autores a la descripción transmitida por Avieno en su *Ora Marítima* (a este propósito véase Pellicer 1996: 119-120).

La necrópolis de La Joya –excavada a partir de 1960– proporcionó ricos ajuares de alto nivel cualitativo y se consideró que este conjunto de materiales tenía que reflejar la existencia de un poblado caracterizado por una sociedad jerarquizada y constituida por una importante elite socio-económica.

Entre los elementos que formaban los ajuares, hay que destacar el significativo número y la variedad tipología de los artefactos metálicos, y también la presencia de escorias en numerosas tumbas que ya sugería una estrecha relación del asentamiento vinculado a esta necrópolis con actividades para la producción de metales.

El aspecto de estas escorias encontradas en La Joya era peculiar, ya que presentaban granos de cuarzo de distinto tamaño, parcialmente disueltos o sin disolver, englobados tanto en la superficie como en su interior. Por esta característica, el excavador que las encontró por primera vez las definió escorias “de turrón” (Garrido 1968: 12), aunque se suelen conocer más comúnmente como escorias “de sílice libre”, una definición que se sigue utilizando en el ambiente académico.

En la Península Ibérica este tipo de escoria suele estar relacionado con la producción de plata y ha sido hallado principalmente en el suroeste peninsular, una zona en la que la obtención de plata está íntimamente vinculada, como veremos más adelante, con la explotación de minerales argentíferos del tipo de la jarosita. El proceso de formación de estas escorias ha sido objeto de numerosos debates científicos para los cuales remitimos a Hunt (2003: 362 y 365-366) y Hauptmann (2007: 167-169).

A raíz del descubrimiento de la necrópolis de La Joya, se llevaron a cabo varias intervenciones arqueológicas en otras zonas de la ciudad con el fin de localizar el núcleo poblacional correspondiente a las ricas tumbas descubiertas (Fernández Jurado 1988-1989a: 53-59).

Entre 1966 y 1979 se realizaron excavaciones en el Cabezo de la Esperanza y en el Cabezo de la Horca, y en este último durante un sondeo se encontraron los restos de una

estructura en piedra que se identificó como un posible horno de fundición, asociado a algunos nódulos de mineral de gossan. Los resultados de las investigaciones realizadas sugirieron que esta área tuvo que constituir sólo una zona marginal de poblamiento y que probablemente fuera destinada a actividades metalúrgicas, debido a que su localización en altura habría favorecido la ventilación de las estructuras de combustión (Fernández Jurado 1988-1989a: 60). Asimismo, en los niveles fechados en el siglo VII a.C. del Cabezo de la Esperanza se recogieron escorias de “sílice libre” y otro tipo de escoria más poroso (Garrido 1968: 23 y 31; Hunt 2003: 363-364), junto con algunos fragmentos de unos recipientes cerámicos fabricados a mano, con desgrasantes gruesos y superficies bastas sin tratamiento alguno. Estas piezas –que tienen paredes perforadas y a veces no presentan fondo, siendo de tipo “anular”– suelen conocerse como “coladores” o “queseras” y su uso ha sido puesto en relación por varios autores con operaciones metalúrgicas, aunque actualmente su función original sigue siendo objeto de debate en el mundo académico.

Se ha considerado un posible uso metalúrgico para estos recipientes por haber sido encontrados en casi todos los casos asociados a evidencias de producción de metales, principalmente de plata. Así, Fernández Jurado (1988-1989b: 186-187) ha identificado un posible paralelo de los “coladores” en la descripción de los moldes utilizados para fabricar copelas que proporciona el conocido orfebre leonés del siglo XVI, Juan de Arfe, en su obra *Quilatador de la plata, oro y piedras*¹⁰. En este libro, el autor describe minuciosamente los ingredientes necesarios y el proceso de fabricación de las copelas:

“[...] las copelas [...] se hazen de diferentes maneras de cenizas. Por que unos las hazen de sarmientos, o de retama, mezcladas con tuetanos de cuernos de carnero quemados y molidos: otros también las hazen de ceniza de tronchos de bergas, pero tienese por mexor la que es de solos huesos de canillas de vaca y de carnero, tanto de unos como de otros, muy bien quemados, de manera que queden blancos. Y estos molidos y muy cernidos, templense con agua en que se haya desatado un poco de cal biva: y no se ha de echar más agua de quanto se pegue la ceniza apretandola. Hecha la ceniza, se ha de echar en un molde de bronce [...]: y este molde no ha de tener suelo: y como este lleno, ponese encima otro molde de laton [...] que es lo que se asienta sobre la ceniza: y danse encima dos o tres golpes de martillo hasta que esté bien apretada. Después de lo cual se saca del molde [...]”.

¹⁰ ARFE, J. de 1572: *Quilatador de la plata, oro y piedras*. Libro Primero, hoja 9. Col. Primeras Ediciones, 5 (1976). Ministerio de Educación y Ciencia.

La función de estos recipientes cerámicos perforados sería la de facilitar el “sudado” del exceso de agua que podría llevar la mezcla de hueso y cal (Fernández Jurado 1988-1989b: 187). Pero tampoco se ha descartado un uso culinario para este tipo de vasija, de hecho algunos fragmentos han sido encontrados en yacimientos en los que no se han documentado restos de la producción de plata, como por ejemplo en Setefilla (Aubert *et al.* 1983: 97), o en otros centros que no han proporcionado ningún tipo de evidencia de operaciones metalúrgicas (Hunt 2003: 367-368).

De todos modos, aunque considero que sea más probable que estos recipientes sirvieran para un uso culinario y no metalúrgico, hasta que no se encuentren evidencias más claras que permitan demostrar su empleo en la fabricación de copelas, la cuestión sigue abierta. Además, como se verá más adelante, todos los análisis composicionales de copelas que han sido realizados hasta la fecha apuntan a que en los procesos de copelación se utilizaban simples vasijas cerámicas y no se ha podido detectar en ninguna de ellas la presencia de ceniza de huesos o cal.

Durante los años setenta se realizaron excavaciones en el Cabezo de San Pedro, una zona que fue considerada como un posible emplazamiento para el área habitacional del poblado. En las laderas del cerro se excavó una estructura muraria de forma aproximadamente semicircular y de incierta función, cuya técnica edilicia tenía sus paralelos más directos en el mundo fenicio (Ruiz Mata *et al.* 1981). Este elemento arquitectónico fue la primera evidencia encontrada en Huelva que pudo ser relacionada directamente con la presencia fenicia y, además, en la capa de relleno de este muro se encontró también el primer elemento material de filiación oriental, un fragmento de cerámica a torno perteneciente a una *oinochoe*. Además, la presencia de los colonos tuvo que estar relacionada también con la gradual sustitución en el cerro del hábitat anterior constituido por cabañas con unas estructuras más sólidas construidas en piedra (Fernández Jurado 1988-1989a: 73-83).

Más tarde, un descubrimiento fortuito efectuado durante las obras de construcción de un edificio en el núcleo urbano de la ciudad actual, impulsó varias intervenciones arqueológicas de urgencia que pusieron en evidencia la existencia en el casco antiguo de un hábitat con una intensa frecuentación por lo menos desde el siglo VIII hasta finales del siglo VI a.C., cuando se registró un momento de crisis que, aunque no llegó a causar un total abandono del yacimiento, produjo una fuerte decadencia económica.

A lo largo de estas excavaciones se documentaron varios hornos metalúrgicos, significativas cantidades de materiales relacionados con actividades de reducción de minerales, especialmente para la producción de plata, y se recogió abundante cerámica de distinta procedencia y tipología.

Las excavaciones en la C/ Puerto 6 y 9 proporcionaron abundantes evidencias de la fase fenicia, correspondientes en gran parte al siglo VII a.C. y caracterizada por una intensa actividad constructiva. El registro material documentado confirma el papel fundamental que cubrió la producción de metales en este centro, como indican los abundantes hallazgos de nódulos de mineral, escorias, toberas, crisoles y los restos de dos estructuras de combustión. Además, en la C/ Puerto 6 se documentaron estructuras pirometalúrgicas de forma circular, delimitadas por una especie de murete de unos 30 cm de anchura y con un diámetro máximo de aproximadamente 1,7 m. Según los excavadores, estas estructuras estarían dotadas de un sistema para recoger el caldo metálico en el nivel más bajo de la cubeta (Fernández Jurado y Rufete Tomico 1986: 188).

Asimismo, las excavaciones en las calles Méndez Núñez 4, Puerto 10 y 12 han proporcionado elementos relacionados con la metalurgia tanto de la plata como de base cobre, encontrados en asociación con materiales fenicios y/o orientalizantes (Fernández Jurado 1988-1989a: 194). Por ejemplo, en la C/ Puerto 10, debajo de una capa de escorias de plata, se encontró una amplia piedra con varias concavidades utilizadas probablemente para el triturado del mineral y se excavó otra estructura de combustión con características similares a las que han sido identificadas en el 6 de la misma calle. Al igual que las anteriormente descritas, esta estructura tenía forma circular, con un diámetro máximo de 1,27 m y estaba delimitada por un murete de unos 33 cm de anchura. Se conservaba una altura de aproximadamente 40 cm y en su interior se alternaban capas de tierras rojizas y negras (Garrido y Orta 1994: 182; Hunt 2003: 360). Sin embargo, a pesar de haberse excavado varias estructuras de combustión, en toda la zona se han recogido solamente unos pocos fragmentos de tobera, en concreto procedentes de la C/ Puerto 9 (Fernández Jurado 1988-1989a: 154, lám. LVIII, 19-21; Hunt 2003: 362).

También merece ser mencionado el hallazgo en esta misma área de una escoria de hierro, probablemente de forja (Hunt 2003: 371), que nos documenta la práctica de una metalurgia ferrosa, aparte de la metalurgia de base cobre y de la producción de plomo y plata ya documentadas en prácticamente todas las zonas excavadas. Asimismo, tanto en

la C/ Puerto como en la C/ Méndez Núñez, se recogieron varios fragmentos de “coladores” (Fernández Jurado 1988-1989a: 182-183).

En resumen, estas investigaciones arqueológicas efectuadas en el casco antiguo de Huelva permitieron documentar una floreciente economía en la cual la producción y el comercio de metales tuvieron que desarrollar un importante papel. Además, una actividad constructiva dinámica dio vida en la zona del puerto a un núcleo urbano regular con estructuras habitativas, almacenes para las mercancías y activos talleres metalúrgicos con hornos para la producción de metales, especialmente de plata.

El rápido proceso de aculturación y el alto grado de orientalización alcanzado por la sociedad onubense resultaban evidentes en todas las zonas excavadas, como sugiere también la progresiva sustitución de las cabañas por edificios en piedra y de la cerámica indígena por cerámica fenicia a torno.

Sin embargo, a pesar de los importantes resultados obtenidos, estas intervenciones sólo interesaron zonas muy concretas y de extensión reducida, y por tanto no eran suficientes para identificar con precisión todas las fases de ocupación, la topografía y la extensión global del hábitat antiguo de Huelva. Además, a mediados de los años noventa, Pellicer (1996) hizo notar la dificultad existente para establecer con seguridad si Huelva tenía que considerarse un asentamiento indígena que, debido a intensos contactos con los fenicios, vivió un notable proceso de orientalización o si se trataba de una colonia propiamente fenicia.

El registro cerámico recogido durante las excavaciones incluía abundantes cantidades tanto de cerámica a mano de tradición local como de cerámica a torno, principalmente fenicia. Se sugirió por tanto la posibilidad de que existiera un núcleo indígena en la parte alta de la ciudad, en los cabezos, mientras que a partir aproximadamente del siglo VIII a.C., en la zona situada en la proximidad del puerto, se habría establecido *ex novo* una colonia o un “barrio fenicio” orientado a la producción metalúrgica y al comercio. Como veremos más adelante, una realidad parecida ya se ha documentado en otro yacimiento indígena, Peña Negra (Crevillente) en la provincia de Alicante, donde en el siglo VIII a.C. se instaló una factoría fenicia en la que se producían principalmente metales y cerámica (González Prats y García Menárguez 1998: 16).

Los excavadores que llevaron a cabo las investigaciones en las distintas zonas de la ciudad de Huelva antes mencionadas efectuaron una selección de algunos de los hallazgos arqueometalúrgicos para su estudio analítico (Fernández Jurado 1988-1989a). Este estudio se realizó utilizando distintas técnicas de laboratorio que se emplean normalmente en las investigaciones metalúrgicas modernas: Absorción Atómica, Gravimetría (para sílice y azufre), Inducción de Plasma Acoplado (ICP) y ensayos puros para oro y plata.

Las muestras analizadas proceden principalmente de la C/ Puerto 6 y 9 y corresponden a tres fragmentos de mineral, siete escorias de “sílice libre”, un fragmento de cerámica con escorificación adherida, una copela y algunos restos de fundición (dos de plomo y uno de base cobre).

Aunque las técnicas empleadas no permitan una adecuada caracterización de varios de los materiales seleccionados, debido a que el análisis únicamente de su composición elemental no puede reflejar la heterogeneidad de estos residuos, los resultados obtenidos proporcionan datos igualmente interesantes: todos ellos muestran contenidos elevados de plata que oscilan entre aproximadamente 470 ppm Ag y 4000 ppm Ag y están acompañados por abundante plomo y algo de cobre, lo que los relaciona con procesos metalúrgicos en los que se estaban utilizando minerales polimetálicos ricos en plata, probablemente del tipo de la jarosita. También se analizó un resto de fundición compuesto principalmente por plomo con un 18% de cobre y más de un 12% de estaño, una composición anómala dentro del conjunto de piezas documentadas (Fernández Jurado 1988-1989a: 189-193).

De los materiales arqueometalúrgicos recogidos en la C/ Puerto 10 se llevó a cabo sólo una clasificación preliminar (Rovira Llorens 1994: 209) y se identificaron algunos restos de fundición cobrizos, escorias aparentemente relacionadas con la producción de cobre, escorias del tipo “de sílice libre”, nódulos de minerales cupríferos y numerosos elementos metálicos tanto de base cobre como restos de plomo y piezas férricas del todo remineralizadas.

Por lo que concierne a los materiales recogidos en el Cabezo de la Esperanza, se analizó la composición de unas diez muestras. Estos materiales, por la breve descripción proporcionada por los excavadores (Garrido 1968: 12 y 33), parecen corresponder a escorias del tipo definido de “sílice libre” pero, en la mayoría de los casos, los contenidos tanto de plata como de cobre son muy bajos, sensiblemente menores con respecto a los materiales recogidos en las excavaciones de la C/ Puerto 6 y 9. Por tanto,

Fernández Jurado (1988-1989b: 193-194), de acuerdo con los resultados publicados, sugiere que podría tratarse de un tipo distinto de metalurgia, es decir no destinada al aprovechamiento de minerales auro-argentíferos sino de otros metales, aunque no se especifica de qué metales podría tratarse.

También se efectuaron análisis de numerosas piezas metálicas procedentes tanto de las excavaciones en el casco antiguo de Huelva como de la necrópolis de La Joya, y los resultados obtenidos son compatibles con la composición de los objetos fenicios documentados en varios yacimientos contemporáneos, es decir corresponden en gran parte a bronce pobres en estaño y a bronce plomados (Fernández Jurado 1988-1989b: 195-207).

Y por último, para determinar la posible procedencia de los minerales empleados para las operaciones metalúrgicas en Huelva, se llevaron a cabo análisis de los isótopos del plomo (LIA) de un fragmento de litargirio recogido en las excavaciones de la C/ Puerto 9 y de dos escorias de “sílice libre” procedentes de la C/ Puerto 12 (Hunt 2003: 256). En el caso del litargirio, su composición isotópica resultó ser similar a la de las mineralizaciones de Riotinto y también a las de Aznalcóllar (Sevilla) cuyos campos isotópicos se solapan parcialmente, mientras para las dos escorias analizadas la situación era poco clara, ya que en la época en las que se efectuaron estos análisis los valores obtenidos no coincidían con ninguna de las zonas mineras que habían sido caracterizadas isotópicamente.

Entre 1997 y 1998 se realizaron otras excavaciones de urgencia en el casco urbano de Huelva, entre la Plaza de las Monjas y la C/ Méndez Núñez 7-13 (González de Canales *et al.* 2004). Estas intervenciones permitieron observar en alguna zona la secuencia estratigráfica completa hasta alcanzar la fase más antigua del hábitat, atribuible a finales del siglo X-comienzos del siglo IX a.C., un periodo generalmente definido como “fase precolonial” fenicia y que está todavía escasamente documentado en la mayoría de los yacimientos peninsulares.

Durante estos trabajos se recogió un registro material muy abundante y variado que documenta intensos contactos comerciales con el mundo fenicio de Oriente. Desde principios del siglo VIII a.C. estas relaciones se consolidan y se vuelven más continuas, una situación que los excavadores han atribuido a una presencia fenicia ya estable en la zona, sugiriendo también que el emporio de Huelva podría haber participado en la

planificación de las colonias fenicias en la Península Ibérica (González de Canales *et al.* 2004).

Del material arqueológico recogido durante estas intervenciones, hay que destacar la presencia de una cantidad significativa de restos arqueometalúrgicos que incluyen fragmentos de mineral, escorias relacionadas con distintos tipos de procesos para la producción de metales, casi un centenar de fragmentos de toberas de distinta tipología (tanto de tipo prismático de una o dos perforaciones como de tipo cilíndrico y corniforme), varios fragmentos de vasijas metalúrgicas, moldes, restos de fundición y un botón de plomo-plata (González de Canales *et al.* 2004: 208-209; 2006: 118). Todos estos elementos –que actualmente constituyen uno de los principales conjuntos de materiales arqueometalúrgicos atribuibles a esta fase cronológica– documentan operaciones metalúrgicas relacionadas con la obtención tanto del cobre y sus aleaciones como de plomo, plata y hierro, confirmando cuanto ya sugerían los hallazgos realizados en las excavaciones anteriores llevadas a cabo en zonas cercanas del casco antiguo de la ciudad.

Asimismo, se recogieron una serie de elementos pertenecientes a paredes de horno que permitieron reconstruir la morfología de la estructura de combustión; se trata de un horno de chimenea cuyos paralelos más cercanos a nivel tipológico han sido encontrados en la reconstrucción propuesta por Conophagos (1980: Fig. 12.10) para una estructura de combustión del Laurion (Grecia) empleada para la copelación de la plata (González de Canales *et al.* 2006: 118).

Los excavadores han publicado los resultados analíticos de un estudio preliminar efectuado sobre una selección de los materiales arqueometalúrgicos encontrados, que incluye una veintena de muestras correspondientes a dos fragmentos de mineral de cobre, varias escorias tanto de base cobre como de plata, escorificaciones en vasijas y en toberas, unas masas férricas y una placa de estaño. La composición elemental de estas piezas fue analizada por ICP y por Absorción Atómica (González de Canales *et al.* 2004: 145-153). Actualmente, esta selección de materiales está siendo objeto de un estudio analítico exhaustivo realizado por nosotros en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid para determinar más detalladamente con qué tipo de operaciones metalúrgicas se pueden relacionar.

Por lo que concierne a la zona de **Riotinto**, entre principios y mediados de los años setenta, la Compañía de Minas de Riotinto (*Riotinto Company*) decidió empezar

nuevas labores extractivas que habrían borrado cualquier tipo de huella de explotación anterior. Se decidió pues realizar prospecciones en toda la zona para poder identificar antiguos trabajos de extracción minera, permitiendo localizar algunos yacimientos indígenas relacionados con el aprovechamiento y con el procesamiento de mineral.

En todos estos centros las actividades metalúrgicas están asociadas a la presencia fenicia, como indican las evidencias documentadas en el Cerro Salomón y en Quebrantahuesos.

Su excavación arqueológica fue llevada a cabo en el marco de un importante proyecto que incluía toda la provincia de Huelva, la *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva*, dirigido por el Prof. A. Blanco Freijeiro entonces catedrático en la Universidad de Sevilla y por el Prof. B. Rothenberg del *University College of London*, en Inglaterra (Blanco y Rothenberg 1981).

Recientemente, un equipo de geólogos ha llevado a cabo nuevas prospecciones del área minera de Riotinto en las que se ha calculado que los escoriales antiguos, que incluyen tanto residuos de época prerromana como romana, parecen superar los 6 millones y medio de toneladas. En estas minas se estaban aprovechando minerales del tipo de la jarosita y gossan enriquecidos en oro y plata; de hecho, según los nuevos resultados analíticos obtenidos por el estudio de la composición de algunas de las escorias de Riotinto, los tenores de metales nobles tuvieron que ser seguramente mayores que los actuales (González de Canales *et al.* 2006: 118-119).

El **Cerro del Castillo Viejo de Salomón**, o simplemente el **Cerro Salomón**, está ubicado en la Sierra del Mineral, que corresponde a la continuación de la Sierra Morena en el norte de la Provincia de Huelva. Y es en las laderas de este cerro, en la Cueva del Lago, donde nace el río Tinto, mientras que el yacimiento está situado en la parte alta del monte, entre los filones Norte y Sur del criadero de Riotinto.

A principios del siglo XIX se abrieron nuevos cortes para la extracción minera en esta zona que destruyeron gran parte del poblado antiguo pero, durante las excavaciones allí llevadas a cabo, se pudieron identificar cuatro sectores del hábitat aunque solamente en uno se llegó a documentar restos de estructuras habitacionales, correspondientes a unos ambientes de planta rectangular con alzados en piedra (Blanco y Luzón 1969; Blanco *et al.* 1970: 6).

El registro cerámico recogido en el Cerro Salomón incluía tanto cerámica a mano decorada –característica de la última fase del Bronce Final ibérico, con incisiones e

impresiones digitales– como cerámica a torno de filiación fenicia. Y a pesar de que las cerámicas indígenas sean más abundantes, hay que destacar que en este grupo son frecuentes las imitaciones de formas fenicias (Fernández Jurado y Ruiz Mata 1986: 213-217).

La extracción del mineral está documentada por el descubrimiento de pequeñas galerías y de algunos picos y martillos de minero con surco central para el enmangue. El procesamiento del mineral también tuvo que ser una de las actividades realizadas en el poblado, como indica el hallazgo de algunas herramientas metalúrgicas, tales como machacadores, morteros, escorias de “sílice libre”, restos de fundición y varios fragmentos de toberas, principalmente de sección cilíndrica y desarrollo corniforme, pero se ha documentado también un ejemplar de sección prismática de doble perforación, un tipo generalmente asociado a la presencia fenicia; todos estos elementos fueron recogidos dentro de los ambientes arriba mencionados. Además, algunos fragmentos de litargirio y goterones de plomo nos documentan que se estaba obteniendo plata por copelación (Blanco *et al.* 1970: 12). En este sentido apunta también el análisis llevado a cabo en el *Riotinto Laboratory* de la composición de cuatro de las escorias encontradas en el yacimiento, en las que se ha detectado un contenido en plata de aproximadamente 700 ppm Ag (Blanco y Luzón 1969: 126-127; Blanco y Rothenberg 1981: 100).

Asimismo, se identificaron algunas posibles estructuras de combustión de tipo “primitivo”, correspondientes a simples cubetas excavadas directamente en el suelo y asociadas a escorias del tipo de “sílice libre” (Blanco y Luzón 1975: 243; Hunt 2003: 360).

La cronología del yacimiento va desde el siglo VIII al siglo VI a.C., una fase que corresponde al periodo de mayor florecimiento de los centros minero-metalúrgicos en la zona onubense.

Quebrantahuesos, una colina situada a 250 m del Cerro Salomón, fue excavado en 1975. También en este caso la realidad arqueológica se ha visto afectada por los trabajos modernos de extracción minera, pero las excavaciones proporcionaron datos que han permitido identificar por lo menos tres fases cronológicas: una corresponde a la última fase del Bronce Final (siglo IX a.C.), otra al periodo orientalizante (siglos VIII-VII a.C.) y una fase íbero-púnica que termina a principios del siglo IV a.C., cuando se abandona el poblado (Blanco y Rothenberg 1981: 100).

Casi la totalidad del material recogido durante las excavaciones pertenece al siglo VII a.C., sugiriendo una frecuentación más esporádica para las otras fases de vida del yacimiento. En todos sus periodos de ocupación se han encontrado restos relacionados con actividades de producción de metales, como morteros, machacadores, escorias de “sílice libre” y toberas de sección cilíndrica.

Aunque ya desde la primera fase se documenta la presencia de escorias, es solamente con la fase fenicio-orientalizante, caracterizada por abundante presencia de cerámica a torno de filiación oriental, que se incrementa de manera significativa la actividad metalúrgica para disminuir gradualmente a partir de finales del siglo VII-principios del VI a.C. (Pellicer 1983: 66). De los materiales arqueometalúrgicos pertenecientes a la fase fenicia sólo se ha analizado un fragmento de litargirio que nos documenta, junto con las escorias de “sílice libre”, que se estaban llevando a cabo operaciones de obtención de plata por copelación (Blanco y Rothenberg 1981: 101).

El yacimiento de **Corta del Lago** está situado al noreste del Cerro Salomón y fue descubierto a principio de los años setenta, durante la apertura de un corte para la extracción minera. Se encontró un enorme depósito de restos metalúrgicos antiguos que fue cortado creando una sección arqueológica de 8 m de altura y más de 500 m de longitud, en la que se detectaron varios estratos de escorias y fragmentos de toberas de tipo corniforme. Asimismo, en los niveles de los siglos VII-VI a.C. (Jones 1980: 157) o posiblemente en niveles más antiguos (Amores 1988), los excavadores identificaron algunas cubetas utilizadas en procesos metalúrgicos, del tipo de las que se encontraron en el Cerro Salomón, poco profundas y excavadas directamente en el suelo, asociadas a escorias de “sílice libre” (Hunt 2003: 360).

Como en Quebrantahuesos, las actividades metalúrgicas en Corta del Lago parecen empezar en la última fase del Bronce Final y se intensifican en la fase fenicio-orientalizante para terminar en época romana imperial (Blanco y Rothenberg 1981: 98-99). Las primeras investigaciones arqueológicas se hicieron entre 1973 y 1976 dentro del proyecto *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva*; en 1977 se volvió a excavar esta zona dentro de un nuevo proyecto, el *Río Tinto Archaeometallurgical Project* (Rothenberg *et al.* 1989: 106), que en parte constituía la continuación del anterior aunque a nivel más específico, ya que se ocupaba solamente de la zona de Riotinto y no de todo el distrito minero onubense.

De acuerdo con los análisis preliminares efectuados en el momento del descubrimiento, los estratos más antiguos de la sección están formados principalmente por escorias de plata, del tipo de “sílice libre” (Blanco y Rothenberg 1981: 106).

La atribución cronológica de los distintos estratos de la Corta se realizó a partir de la asociación con materiales cerámicos: la fase del Bronce Final, cuyos materiales se concentraban en la zona inferior de la sección, estaba caracterizada principalmente por la ausencia de cerámica a torno, aunque algunas formas podrían pertenecer ya al periodo orientalizante, mientras que en la fase posterior se había documentado una cada vez mayor presencia de cerámica fenicia.

Con respecto al resto de la provincia de Huelva, se llevaron a cabo excavaciones en varios centros mineros y metalúrgicos indígenas que presentaban diferentes grados de orientalización, como San Bartolomé de Almonte (Almonte), Tejada la Vieja (Escacena del Campo), Monte Romero (Almonaster la Real), Tharsis (Alosno), Peñalosa (Escacena del Campo) y Niebla.

Aunque estos centros no hayan proporcionados evidencias suficientes para suponer una presencia fenicia estable en el *hinterland* onubense, su instalación o su transformación arquitectónica –junto con el florecimiento económico que viven gracias al desarrollo de la explotación minera y de las actividades metalúrgicas de la zona– son elementos generados por el aumento de la demanda externa de metal que se produjo como consecuencia de las amplias relaciones comerciales establecidas entre fenicios e indígenas y en las que, probablemente, el emporio de Huelva jugó un papel fundamental.

San Bartolomé de Almonte (Almonte) está situado a aproximadamente 2,5 km al noreste de Almonte, en la proximidad del arroyo San Bartolomé, hoy en día seco. Este poblado metalúrgico tuvo una primera fase de habitación durante el Calcolítico –en la que no se han detectado restos de actividades metalúrgicas ni de otro tipo de actividad económica especializada (García Sanz y Fernández Jurado 1999: 127-129)– y, después de un largo *hiatus* cronológico, se volvió a ocupar en época protohistórica, en un periodo que va desde finales del siglo IX hasta principios del siglo VI a.C.

Las primeras evidencias de contactos con los fenicios en el yacimiento empiezan a aparecer a partir de la mitad del siglo VIII a.C. y corresponden a fragmentos de cerámica a torno cuya tipología se puede relacionar principalmente con el ámbito gaditano (Ruiz Mata 1986: 541).

La localización geográfica de este centro juega un papel fundamental para entender su importancia dentro de la estrategia comercial de la época. San Bartolomé se encuentra en el lado atlántico de la Depresión Bética y durante el periodo de ocupación fenicio-orientalizante estaba situado a la altura de la antigua desembocadura del Guadalquivir, posteriormente colmatada por los detritos transportados por el río, y por tanto tiene que considerarse como un centro costero (Fernández Jurado 1993: 135). Asimismo, su cercanía a la Sierra Morena, su proximidad a la costa occidental del antiguo “golfo tartésico” y su ubicación en el interior de la Depresión Bética, con el río Guadalquivir como eje principal, constituyeron factores de claro interés económico para el aprovisionamiento de materias primas e hicieron de este centro un punto estratégico para el transporte del mineral y/o del metal, probablemente hasta Cádiz (Belén 2000: 93). Sin embargo, a pesar de que esté situado en una importante ruta comercial, San Bartolomé se encuentra a una distancia significativa de las zonas mineras. Las minas más cercanas son las de Aznalcóllar, en provincia de Sevilla, que están a aproximadamente 40 km y con las que pudo mantener relaciones estrechas gracias a la facilidad de acceso a la zona a través de la campiña llana de Tejada La Vieja y del lecho del río Guadiamar, un afluente del Guadalquivir (Fernández Jurado 1995: 412-413). De hecho, según los excavadores del yacimiento, es desde el área de Aznalcóllar y no desde Riotinto de donde llega el mineral a San Bartolomé, como sugiere también el estudio analítico de la composición de algunas escorias recogidas tanto en este centro como en las distintas zonas mineras mencionadas y que presentan contenidos distintos de plomo y cobre según su procedencia. Como en Aznalcóllar, en San Bartolomé el contenido de plomo es mayor respecto al cobre, a diferencia de lo que se ha detectado en las muestras de Riotinto en las que la cantidad de plomo contenida no es muy significativa mientras se observan apreciables contenidos de cobre (Ruiz Mata 1986: 540).

El conjunto de estructuras excavadas consiste en una serie de fondos de cabaña distribuidos por todo el yacimiento según una agrupación en núcleos que cubre distintas fases cronológicas. Estas cabañas parecen haber tenido una vida breve pero continua, sugiriendo una ocupación estacional del yacimiento (Fernández Jurado 1989: 159-160). Algunas de ellas han sido identificadas como almacenes y otras, asociadas a estructuras de combustión, se han interpretado como áreas de fundición (Fernández Jurado y Ruiz Mata 1985: 24). Por ejemplo, uno de los fondos excavados estaba dividido en dos zonas, una usada probablemente como vivienda y otra como almacén, según parece sugerir la presencia *in situ* de un fragmento de plomo, algunos objetos de bronce y

varios bloques de piedra calcárea que los excavadores han interpretado por sus propiedades absorbentes como elementos posiblemente empleados en los procesos de copelación. De hecho, los análisis químicos de algunas muestras de estos restos calcáreos han revelado la presencia de oro y plata, confirmando su vinculación a procesos metalúrgicos para la obtención de metales nobles (Fernández Jurado y Ruiz Mata 1986: 256).

Una situación análoga fue detectada en otro fondo de cabaña (Fondo I.1) que también presentaba una división interna con una zona destinada a vivienda y otra utilizada como almacén en el que de nuevo se han recogido –además de varios fragmentos de cerámica a torno, objetos de bronce y restos de toberas– algunos bloques de material calizo y una abundante cantidad de escorias de “sílice libre”, cuyos análisis documentan un elevado contenido en oro y plata, variando este último elemento entre 300 ppm Ag y 700 ppm Ag. Se ha supuesto, por tanto, que las escorias fueran almacenadas para reutilizarlas en nuevos procesos metalúrgicos y recuperar el metal noble atrapado, como sugiere además el hecho de que a menudo éstas se encuentran trituradas (Fernández Jurado y Ruiz Mata 1986: 141).

Con respecto a los fragmentos de toberas, sólo se han documentado tres fragmentos de forma prismática, tratándose principalmente de ejemplares de sección cilíndrica tanto de tipo corniforme como de paredes paralelas, entre las que destaca un ejemplar casi completo del cual se conservan más de 45 cm de longitud (Hunt 2003: 360 y 362). Y hay que mencionar también el hallazgo de varios fragmentos de “coladores” que, como ya se ha comentado anteriormente, han sido puestos en relación con la fabricación de copelas. Aquí esta interpretación explicaría la escasez de huesos en el yacimiento ya que, de acuerdo con el método de fabricación de estos recipientes referido por Juan de Arfe (siglo XVI), estos restos se habrían molido y mezclado con agua y cal para preparar las copelas (Ruiz Mata y Fernández Jurado 1986: 256 y 259; Hunt 2003: 366).

Asimismo, los investigadores han interpretado algunos fondos de cabaña como posibles “hornos” debido a que presentaban adobes quemados y varias huellas de afectación térmica con distintas coloraciones del terreno, en cuyas partes más oscuras, de color negruzco, se encontraba una abundante presencia de fragmentos de escorias; además, en estas estructuras destaca la escasez de los materiales cerámicos en relación con los restos metalúrgicos (Ruiz Mata y Fernández Jurado 1986).

La morfología de estos posibles “hornos” es de tendencia circular u oblonga y estaban constituidos por simples fosas excavadas en el terreno que sólo en pocos casos presentaban revestimiento de arcilla, mientras en un único caso todavía se podían apreciar los restos de una posible cubierta (Fernández Jurado 1989: 160). Lo que sorprende de estas estructuras de combustión es su gran tamaño, ya que su eje mayor podía variar entre 2 y 3 m mientras que el eje menor solía estar alrededor de 2-2,5 m.

A este propósito hay que hacer notar que los autores utilizan la misma palabra “fondo” para definir estructuras utilizadas como viviendas, vertederos o también como “hornos” y que, por tanto, su interpretación puede resultar confusa. Es posible pues que aunque se hubiera empleado todo el “fondo” para llevar a cabo operaciones pirometalúrgicas, sólo una parte correspondía a la estructura de fuego propiamente dicha; de hecho, en la mayoría de los casos, estas estructuras no han podido ser identificadas con claridad por su mal estado de conservación. Además, de acuerdo con los comentarios de S. Rovira Llorens (1995: 485), mantener unas temperaturas elevadas en estructuras pirometalúrgicas de este tipo resultaría complejo (Hunt 2003: 359).

De los materiales recogidos en estos fondos, se realizó una selección para el estudio de su composición elemental; estas muestras incluyen nódulos de minerales (identificados como gossan), escorias de “sílice libre”, fragmentos de copelas, goterones de plomo y algunos restos de material calizo.

El estudio analítico se llevó a cabo aplicando distintas técnicas, como la Absorción Atómica, la Gravimetría, ICP y los ensayos puros para los metales nobles (Ruiz Mata y Fernández Jurado 1986: 265-270, tablas 2-6). Los resultados son coherentes con los que se han obtenido en los otros yacimientos onubenses: se trata de minerales argentíferos y de subproductos resultantes de operaciones para la obtención de plata y, como ya se ha mencionado, los nódulos calizos se podrían haber empleado como fundentes en estos procesos metalúrgicos.

También se analizó la composición isotópica de algunas escorias de “sílice libre” pero los resultados obtenidos no han permitido determinar el origen de los minerales empleados en los procesos metalúrgicos en los que se formaron estos subproductos, y se ha supuesto que podría tratarse de una signature resultante de la mezcla de plomo y minerales de procedencia distinta (Hunt 2003: 250).

En resumen, las características del yacimiento sugieren que se trata de un taller metalúrgico destinado principalmente o exclusivamente a la producción de plata. Como ya se ha mencionado, la cerámica fenicia encontrada en San Bartolomé es de

procedencia gaditana –confirmada también por los análisis arqueométricos de las pastas– y parece indicar que los fenicios de Cádiz representaban los principales beneficiarios de la plata producida en la ruta comercial Aznalcóllar-San Bartolomé (Ruiz Mata 1986: 541).

Tejada la Vieja surge en una pequeña meseta entre la Sierra Norte y la campiña meridional de la provincia de Huelva, en una posición estratégica para el control y la redistribución del mineral explotado en las minas de Aznalcóllar, una zona con la cual está bien comunicada por vía fluvial a través de los ríos Guadiamar y Guadalquivir que, a su vez, la ponen en comunicación con la costa.

Las primeras investigaciones arqueológicas en el yacimiento fueron llevadas a cabo en 1970 en el marco del proyecto *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva*, para ser retomadas en 1982 por la Diputación de Huelva.

La ocupación del poblado fue bastante larga y cubre una secuencia cronológica ininterrumpida que va desde el siglo VIII hasta el siglo V a.C. (Fernández Jurado 1993: 136-137). La estratigrafía ha permitido documentar tres fases principales de ocupación: la primera llega hasta finales del siglo VII a.C., la segunda va desde finales del VII hasta la mitad del siglo VI a.C. y se caracteriza por un alto grado de orientalización de la sociedad, mientras que en la última fase ya se ha consolidado plenamente el mundo turdetano y la producción metalúrgica deja de ser el eje portante de la economía local (García Sanz y Rufete Tomico 1995: 8-9).

Son escasos los elementos arqueológicos que pueden ser asignados a la fase I pero, ya desde los primeros momentos de ocupación del yacimiento, es evidente una influencia oriental en la cerámica a torno y en la técnica edilicia empleada para la construcción de la muralla, análoga a la que fue utilizada para la erección del recinto defensivo del Castillo de Doña Blanca en Cádiz (Ruiz Mata y Pérez 1995: 99-103). A partir del segundo nivel de esta fase I empiezan a documentarse restos de actividades metalúrgicas, junto con un progresivo aumento de la cerámica fenicia y de la cerámica gris (Fernández Jurado 1986: 156-157). A partir de la fase II se observa un conspicuo aumento de las cerámicas de filiación fenicia y se registran abundantes hallazgos de escorias de “sílice libre”, toberas –todas de tipo cilíndrico–, algunos fragmentos de “coladores” cerámicos y nódulos de galena, todos elementos que documentan una abundante producción de plata.

Hacia finales de esta fase II ya se aprecia un cambio en la orientación económica del poblado, de acuerdo con el mayor número de hallazgos de ánforas y de molinos para cereales a expensas de las evidencias de obtención de metal (Fernández Jurado 1986: 160-161).

Algunas de las estructuras excavadas eran bastante amplias y estaban dispuestas paralelamente entre ellas formando un espacio rectangular que ha sido interpretado por los excavadores como un lavadero de mineral, principalmente por su proximidad a un área que había proporcionado cantidades especialmente abundantes de restos minero-metalúrgicos (Fernández Jurado 1987: 112).

La planificación de los espacios urbanos incluía también una división en áreas especializadas: una para las estructuras utilizadas como viviendas, otra para los almacenes y un área destinada a las actividades metalúrgicas ubicada cerca de la muralla; la zona de los vertederos también estaba separada, situada lejos de los espacios habitacionales. Asimismo, se excavó una estructura de combustión de forma circular pero su uso en operaciones metalúrgicas no está confirmado ya que no se encontró ningún residuo de la producción de metales asociado a este posible “horno” (Fernández Jurado 1987: 83 y 112).

Al igual que en los otros yacimientos anteriormente descritos, aquí también se efectuó una selección de muestras para su estudio analítico. Se analizaron principalmente nódulos de mineral (gossan) y escorias cuyos resultados confirmaron su vinculación a la producción de plata (Pérez Macías 1996: 144-145), y se llevó a cabo también una serie de análisis por ED-XRF de varios objetos metálicos de base cobre (Rovira Llorens *et al.* 1987).

Asimismo, Hunt (2003) efectuó análisis de los isótopos de plomo de cinco muestras: tres fragmentos de cerámica con escoriificaciones adheridas y dos escorias de “sílice libre”. Los resultados obtenidos son similares a los de San Bartolomé de Almonte, es decir no coinciden con la signatura isotópica de ninguna zona minera caracterizada en ese momento, aunque en este caso la composición isotópica de uno de los fragmentos de vasija metalúrgica y de las dos escorias podría coincidir con el campo isotópico de Paterna (Hunt 2003: 250).

Tejada la Vieja tuvo que constituir un activo centro de acumulación y redistribución de los recursos mineros del territorio circundante para los núcleos urbanos de la región occidental de la provincia de Huelva y del área del valle del Guadalquivir. De hecho, la instalación de este poblado podría estar relacionada con el

abandono de algunos pequeños centros situados en áreas cercanas, como por ejemplo el de Peñalosa (Escacena del Campo) del que se tratará más adelante (Belén 2000: 94).

Tejada controlaba la vía que desde Riotinto se juntaba más al sur con la vía principal que empezaba en Niebla y llegaba hasta el Guadalquivir. Además, los análisis de algunas escorias y minerales procedentes de Tejada y de San Bartolomé de Almonte documentan una composición similar, con altos contenidos en plata y oro, sugiriendo una relación estrecha entre estos dos centros (Fernández Jurado 1987: 89). De hecho, los cambios registrados a partir de la mitad del siglo VI a.C. habrían afectado significativamente este importante eje comercial Tejada-San Bartolomé, causando el definitivo abandono de San Bartolomé y un notable estancamiento en la economía de Tejada que llevó a una progresiva disminución de las actividades minero-metalúrgicas.

Monte Romero (Almonaster la Real) está situado en la Sierra Aracena, al noroeste de la provincia de Huelva, dentro del distrito minero de Romerita-Cueva de la Mora. Durante la década de los setenta el yacimiento fue estudiado en el marco del *Proyecto Arqueometalúrgico de la provincia de Huelva* y se identificaron dos zonas de fundición, una dedicada a la obtención del cobre y otra a la extracción de la plata (Kassianidou 1992a).

En superficie se recogieron varios martillos de minero, dos fragmentos de una masa cupro-argentífera, un número conspicuo de toberas de sección cilíndrica y abundantes escorias que fueron objetos de un estudio analítico preliminar para determinar su composición y confirmar su vinculación a la metalurgia del cobre y de la plata (Pérez Macías 1991: 100).

Posteriormente, debido a unos trabajos de reforestación, la zona se volvió a investigar y se encontraron otros varios restos arqueometalúrgicos, entre los cuales hay que mencionar más de una decena de copelas prácticamente completas, numerosos ejemplares de toberas, nódulos de mineral, abundantes escorias –tanto de “sílice libre” como de otro tipo–, restos de paredes de horno, una conspicua cantidad de goterones de plomo, etc. V. Kassianidou (1992b) llevó a cabo un estudio analítico exhaustivo de una selección de estos materiales para su tesis doctoral que desafortunadamente en gran parte sigue siendo inédita, aunque se han publicado varios artículos con algunos de los resultados obtenidos.

Con respecto al conjunto de copelas –que corresponden a recipientes abiertos de forma cónica, de unos 12 cm de diámetro–, el análisis de su composición ha

proporcionado resultados muy interesantes, como por ejemplo la evidencia de una sustitución prácticamente completa, durante el proceso de copelación, del material constituyente de las vasijas por óxido de plomo, con escasos contenidos de plata residual (Keesmann 1993: 115; Kassianidou 1992a). Además, los análisis por difracción de rayos X mostraron la total ausencia de fósforo en la pasta cerámica, excluyendo pues la presencia de ceniza de huesos que supuestamente se habría empleado para la fabricación de las copelas, de acuerdo con la hipótesis sugerida por Fernández Jurado (1988-1989b: 182-183) en base a la “receta” transmitida por Juan de Arfe y anteriormente mencionada. El único elemento a destacar en la composición de estas vasijas fue la presencia de restos de conchas de moluscos, utilizados probablemente para incrementar la capacidad absorbente de la cerámica (Kassianidou 1993: 115).

En 1986 se retomaron las investigaciones en el yacimiento y, durante la prospección del área, se pudo identificar la antigua zona de extracción de minerales en el filón Pozo de los Moros. También la limpieza de la zona de fundición ya excavada durante las investigaciones arqueológicas anteriores proporcionó resultados interesantes. Las evidencias todavía presentes en las distintas áreas de trabajo metalúrgico confirmaron la existencia de dos zonas claramente diferenciadas pero, según los resultados analíticos obtenidos, ambas zonas estaban destinadas a la obtención de plata aunque en cada una de ella se estarían utilizando distintos tipos de minerales, en algunos casos minerales cupro-argentíferos (Kassianidou 1993: 40).

Asimismo, se encontraron otras evidencias que apuntaban a que podría existir una especialización de los espacios del hábitat dedicados a los procesos metalúrgicos. Por ejemplo, con respecto a los numerosos fragmentos de toberas recogidos –que en todos los casos tienen sección cilíndrica, aunque algunos ejemplares tienen paredes rectas mientras otros presentan un desarrollo corniforme del cuerpo–, se ha observado una distribución distinta de los dos tipos dentro del yacimiento: los hallazgos de toberas cilíndricas de paredes rectas procedían del Sector A-2 mientras las corniformes del Sector A-3. El estudio analítico de las escoriaciones adheridas a estos fragmentos de toberas indicaba que el tipo de paredes rectas se había empleado en procesos de reducción de minerales mientras las toberas corniformes se utilizaban en operaciones de refinado de metal y/o copelación de plata (Kassianidou 1992b: 135 y 217; Hunt 2003: 360).

Por último, hay que mencionar que en Monte Romero, a pesar de no haberse identificado restos de estructuras habitacionales, se recogió un abundante registro

cerámico constituido en gran parte por fragmentos de cerámica a mano de producción local, fragmentos de ánforas fenicias y cerámica gris. Estos materiales permitieron fechar el periodo de frecuentación de este yacimiento entre la mitad del siglo VII y la primera mitad del siglo VI a.C., cuando las actividades metalúrgicas en los yacimientos indígenas parecen intensificarse. La vida de Monte Romero fue por tanto breve, concluyendo en el siglo VI a.C., como ocurre en la mayoría de los centros minero-metalúrgicos de la zona (Kassianidou *et al.* 1995).

No ha sido posible determinar con seguridad a qué terminal costera pudiera estar vinculado este taller metalúrgico, aunque parece razonable sugerir que se estuviera aprovechando la cercanía del yacimiento al río Odiel para transportar el mineral y/o el metal a Huelva por vía fluvial.

El distrito minero de **Tharsis** (Alosno) pertenece al Cinturón Ibérico de Piritas y es el segundo en importancia después de Riotinto, como demuestra la notable extensión de los escoriales de época romana.

En los años ochenta se llevó a cabo una prospección en la zona del Filón Sur, concretamente en la parte alta de una de las elevaciones de la Sierra de Santo Domingo o Sierra de Tharse, el Pico del Oro, donde se recogió abundante material cerámico, dos fragmentos de toberas de tipo corniforme y numerosos restos de escoria del tipo de “sílice libre” (Domergue 1987: 209, fig. 54a; Pérez Macías 1996: 108, fig. 33.10).

Se llevó a cabo un estudio analítico de la composición de estos materiales escoriáceos recogidos durante la prospección y los resultados obtenidos confirmaron su vinculación con la metalurgia de la plata (Pérez Macías 1999: 82-83).

En 1989 se llevó a cabo una excavación de urgencia en el mismo Filón Sur debido a una ampliación de los trabajos extractivos que estaban todavía en curso. Se prospectó además toda la zona minera para evitar la destrucción de los eventuales yacimientos arqueológicos presentes, ya que los materiales encontrados en el Pico del Oro indicaban claramente que esta colina fue utilizada como hábitat y como taller metalúrgico en época orientalizante. También estas intervenciones depararon numerosos hallazgos de escorias, toberas de tipo corniforme, un fragmento de copela y fragmentos de ánforas fenicias; además, estaba bien representado el repertorio cerámico típico de los siglos VII y VI-V a.C., tanto de producción local como el de filiación fenicia (Pérez Macías 1999: 83-84).

El poblado protohistórico de Tharsis parece pues documentar una situación similar a la de Riotinto, con un hábitat instalado sobre una altura desde la que se pueden dominar las principales mineralizaciones del área, una zona industrial ubicada en la parte baja de la colina y un registro cerámico análogo al que se ha documentado en el Cerro Salomón.

El poblado de **Peñalosa** (Escacena del Campo) está situado en una amplia y fértil llanura, a 4 km de Tejada la Vieja. A finales de los años noventa la Diputación de Huelva empezó a llevar a cabo investigaciones arqueológicas en el yacimiento y se documentó un hábitat formado por un grupo de cabañas, aunque su mal estado de conservación no permitió la excavación integral del yacimiento (García Sanz y Fernández Jurado 2000: 9-11). Además, de estas estructuras sólo quedaba una débil huella en el terreno y, por la ausencia de elementos que permitieran diferenciarlas entre ellas, no se pudo determinar si se trataba de simples viviendas o si las cabañas estaban destinadas a un determinado uso.

Sólo se pudieron excavar seis fondos de cabañas caracterizados por un único nivel de relleno de escasa potencia que sugería una ocupación limitada a un breve periodo de tiempo. De hecho, la secuencia cronológica de la ocupación de Peñalosa va desde finales del siglo IX hasta la primera mitad del siglo VIII a.C., como indica también el hallazgo en una cabaña de un fragmento de cuenco fenicio de barniz rojo que por su tipología puede enmarcarse en estas fechas tempranas (Fernández Jurado 1995: 413). De todos modos, este fragmento por el momento es un caso aislado ya que el repertorio cerámico de Peñalosa es principalmente de tradición indígena, con cerámica bruñida y cerámica de producción más grosera.

Todos los fondos de cabaña excavados proporcionaron material que podía ser relacionado con actividades metalúrgicas destinadas a la producción de plata, en especial se documentaron escorias de “sílice libre”, goterones de plomo, fragmentos de toberas de tipo corniforme, cerámica escorificada, un fragmento de litargirio y varios fragmentos de “coladores” cerámicos, aunque ya se ha mencionado que su función metalúrgica no está todavía confirmada (Fernández Jurado 1993).

Se efectuaron análisis químicos de la composición de algunos goterones de plomo, de escorias de “sílice libre” y también de una escorificación adherida a un fragmento de tobera. De acuerdo con los resultados obtenidos, los excavadores compararon la composición elemental de estos plomos y escorias con la de las muestras analizadas de

Tejada y de San Bartolomé, destacando una clara semejanza entre los materiales recogidos en estos tres yacimientos. Por el contrario, la composición de los materiales de Peñalosa difería notablemente de las muestras analizadas de Huelva cuyos resultados parecían apuntar a la explotación de los minerales de Riotinto (García Sanz y Fernández Jurado 2000: 81-82).

Este estudio analítico proporcionaría pues nuevos elementos para sugerir la existencia de una ruta que desde las minas de Aznalcóllar alcanzaría la terminal costera de Cádiz, pasando por varios centros destinados a actividades metalúrgicas, es decir Tejada la Vieja, San Bartolomé y el mismo Peñalosa. Además, se ha analizado un resto de plomo encontrado en una de las estructuras excavadas en el Castillo de Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz), un yacimiento del que hablaremos más adelante, y su composición ha resultado ser análoga a la de los plomos procedentes de Peñalosa, San Bartolomé y Tejada, reforzando la hipótesis de una ruta comercial del metal que une estos centros (García Sanz y Fernández Jurado 2000: 82). Un elemento a favor de esta teoría nos lo proporciona también el estudio de los isótopos del plomo de unos fragmentos de cerámica con escoriaciones adheridas cuya signature isotópica es similar a la de las escorias de “sílice libre” de San Bartolomé de Almonte aunque, como ya se ha mencionado antes, en ninguno de estos casos no se ha podido aún determinar la procedencia del mineral ya que podrían haber estado empleando materiales de distinta procedencia. También los resultados de los materiales de Tejada –aunque las escorias no coincidan con estas muestras pero sí dos de los fragmentos de vasijas metalúrgicas– sugieren una situación similar (Hunt 2003: 250).

Peñalosa fue pues un centro destinado a operaciones metalúrgicas instalado *ex novo* –como indica la falta de una estratigrafía vertical que permita distinguir varios niveles– y con una ocupación breve. Su abandono podría haberse debido a la instalación en la zona de otros centros probablemente de mayores dimensiones y más fácilmente defendibles, como por ejemplo Tejada la Vieja que se instala en esta época y que ya desde los comienzos de su ocupación construye una muralla que rodea todo el perímetro urbano.

Niebla se encuentra en una zona muy fértil de la provincia de Huelva, la Tierra Llana, a pocos kilómetros al norte de Tejada la Vieja y a menos de 30 km de Huelva.

La ciudad, casi enteramente amurallada, está situada en una pequeña colina que domina la orilla derecha del río Tinto. La zona norte del *hinterland* de Niebla está

incluida en el distrito minero del Andévalo oriental, mientras la zona sur está constituida por parte de las campiñas que forman la depresión del Guadalquivir. Este centro dominaba un vado en el que confluían todos los caminos que llegaban a las minas, pasando por una vía que iba desde las orillas del río Guadiana hasta las del Guadalquivir (Belén 2000: 94); y además, gozaba de una localización estratégica para el comercio gracias a su cercanía a la ruta que ponía en comunicación la zona minera de Riotinto con la salida al mar en la ciudad de Huelva (Mancebo Dávalos 1995: 19).

El hábitat protohistórico fue instalado en la primera mitad del siglo VIII a.C. y su ocupación llega hasta hoy en día. Ha estado rodeado por una muralla desde las fases más antiguas de su ocupación, como demuestra la identificación de algunos tramos cuya técnica de construcción parece ser de filiación oriental y similar a la del Cabezo de San Pedro, en Huelva, también fechada en el siglo VIII a.C. (Belén y Escacena 1993: 152; Gómez Toscano 2004). Los primeros trabajos arqueológicos en Niebla fueron llevados a cabo entre 1915 y 1931 por E.M. Whishaw (1929), fundadora de la Escuela Anglo-Hispano-Americana de Arqueología, y por J.P. Droop (1925), un arqueólogo inglés que colaboró con la misma escuela. Las excavaciones interesaron varias zonas del poblado, entre las cuales la zona del denominado “Embarcadero fenicio” o “Muro de Droop” ofreció los niveles más antiguos.

Entre finales de los años setenta y principio de los ochenta se reanudaron las investigaciones arqueológicas en la zona de la Puerta de Sevilla que, junto con los restos de muros encontrados en la parte oriental del hábitat, constituyen los testimonios más antiguos de la urbanización de Niebla (Campos Carrasco y Gómez Toscano 2001: 130-131). Además, durante las investigaciones del *Proyecto de Arqueología Urbana en Niebla* llevado a cabo por la Universidad de Huelva, se comprobó que el perímetro urbano de la primera fase de vida de la ciudad no coincidía con el que marcaba la muralla, como demostraba el hallazgo de algunas cabañas que sobresalían de la línea del recinto amurallado. Una de estas cabañas, fechada en la segunda mitad del siglo VIII a.C., proporcionó abundantes restos arqueometalúrgicos, entre los cuales destacan por cantidad las escorias, los fragmentos de toberas y de vasijas metalúrgicas (Pérez Macías 1996: 153; Hunt 2003: 366).

A lo largo de las distintas campañas de excavación llevadas a cabo también en otras zonas del yacimiento, se encontró una cantidad notable de residuos metalúrgicos, confirmando el papel activo que tuvo la producción de metales en la economía del Niebla. De hecho, los hallazgos de escorias son muy numerosos, especialmente las que

se relacionan con la producción de la plata. De acuerdo con los resultados analíticos obtenidos por Salkield (1970) y por Bedia y Pérez Macías (1993), estas escorias presentan contenidos de plata bastante elevados, que varían entre 620 ppm Ag y 820 ppm Ag.

Son numerosos también los fragmentos de vasijas metalúrgicas y de toberas recogidos pero no se detectaron restos que pudieran interpretarse como estructuras de combustión.

Por lo que concierne a los materiales cerámicos, se han encontrado abundantes fragmentos fabricados a torno ya en los niveles en contacto con el suelo virgen, en asociación con fragmentos de vasijas metalúrgicas y de otros residuos, documentando una dedicación del centro a la producción de metales ya desde sus primeras fases de ocupación (Blanco y Luzón 1975: 244). Y de hecho la elección del lugar donde instalar este centro parece responder a unas claras exigencias estratégicas. Niebla tuvo que constituir un importante puerto fluvial que, a través del curso del río Guadiamar, permitía el transporte del mineral procedente de Riotinto y/o del metal obtenido hacia la costa, donde Huelva habría procedido a su comercialización. Niebla habría pues desarrollado un papel análogo al que tenía Tejada en la ruta que salía desde Aznalcóllar para alcanzar Cádiz.

1.2.2 Cádiz y el Castillo de Doña Blanca

El estudio del asentamiento fenicio de **Cádiz** está todavía en una fase preliminar, debido a la dificultad de llevar a cabo investigaciones arqueológicas en un núcleo urbano con una continuidad habitacional tan intensa. Además, a lo largo de los siglos, la bahía gaditana ha vivido varias alteraciones topográficas que han transformado completamente el antiguo paisaje del golfo, llevando al cierre de la zona oriental de la bahía y uniendo el antiguo archipiélago con la costa. Estos cambios geomorfológicos han dificultado enormemente la reconstrucción de la topografía de la *Gadir* fenicia (Aubert 1994: 229-232). Sin embargo, aproximadamente desde mediados de los años noventa se están llevando a cabo varias intervenciones que han proporcionado datos de sumo interés para poder aclarar la secuencia ocupacional de este asentamiento y cuál fue su papel en época fenicia (Zamora López *et al.* 2010; Gener Basallote *et al.* en prensa).

La mayor parte de la información actualmente disponible sobre la primera ocupación fenicia de la ciudad ha sido encontrada en una serie de excavaciones de

urgencia realizadas en distintas zonas del casco antiguo de Cádiz, principalmente en el actual barrio de La Viña (Arteaga y Roos 2002: 21-39). En particular, habría que mencionar las intervenciones arqueológicas efectuadas en la Casa del Obispo, en la C/ Marqués del Real Tesoro (Torre Tavira) o en las calles Botica y Concepción Arenal, que han deparado un abundante y significativo registro material e importantes datos sobre la zona habitacional fenicia (Lavado *et al.* 2000; Muñoz y Perdigones 2000: 882). A estas hay que añadir las más recientes excavaciones de urgencia llevadas a cabo en un solar de la C/ Cánovas del Castillo 38 y las de la cercana C/ Ancha, que también han proporcionado evidencias significativas para aclarar varios aspectos del asentamiento fenicio arcaico (Córdoba y Ruiz Mata 2005). Pero han sido las excavaciones que se han realizado entre 2007 y 2010 en el solar del antiguo Teatro Cómico de Cádiz –que se encuentra adyacente al Palacio de los Marqueses de Recaño (Torre Tavira) y se extiende entre las calles San Miguel y Marqués del Real Tesoro– las que han proporcionado el mayor número de datos para una posible reconstrucción de la topografía de la Cádiz arcaica y de su cronología. Esta zona, que correspondía a la más alta de la antigua isla de Erytheia, ya fue considerada por muchos investigadores como uno de los posibles emplazamientos para la *Gadir* fenicia (véase, por ejemplo, Ramírez 1982; Escacena 1985; Fierro 1995; Muñoz 1995-1996, entre otros) y las últimas intervenciones en el Teatro Cómico parecen confirmar esta hipótesis, es decir que la ciudad antigua estaba situada sobre un pequeño altozano que daba al canal Bahía-Caleta, en proximidad de la Torre Tavira (Gener Basallote *et al.* en prensa).

Estas excavaciones han permitido documentar una potente estratigrafía que cubre un arco cronológico que va desde la fase más antigua de la ocupación fenicia, fechada a finales del siglo IX a.C., hasta la mitad del siglo VI a.C. que corresponde a un momento de intensos cambios. Dentro de este periodo fenicio arcaico se han identificado cuatro fases: ya en el Periodo I (finales del siglo IX-comienzos del siglo VIII a.C.) han aparecido restos de estructuras, aunque es sólo a partir del Periodo II (fechado aproximadamente en la primera mitad del siglo VIII a.C.) cuando se empieza a documentar una mayor cantidad de estas estructuras y el registro cerámico es más abundante, hasta llegar al Periodo IV (segundo y tercer cuarto del siglo VI a.C.) en el que se registra una “reurbanización” de la zona y cuyos restos se encuentran parcialmente destruidos por los edificios de época romana (Zamora López *et al.* 2010).

Para la primera fase de ocupación se ha documentado la existencia de actividades artesanales, como la extracción de púrpura, en asociación con cerámica de filiación

fenicia; se han recogido también evidencias de actividades metalúrgicas y siguen documentándose en los periodos posteriores, constituyendo los únicos datos actualmente disponibles para la producción de metales en la Cádiz fenicia.

Se trata de un conjunto de materiales bastante variado aunque no muy grande que incluye, aparte de numerosos objetos metálicos de distinto tipo, restos de fundición y escorias de base cobre, escorias de hierro, tres fragmentos de toberas prismáticas de perforación individual y varios goterones de plomo. Estos restos arqueometalúrgicos están todavía inéditos y actualmente siguen en proceso de estudio en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC (Madrid)¹¹.

En resumen, los datos proporcionados por estas investigaciones en el casco antiguo de Cádiz, han permitido determinar que la presencia fenicia en esta zona se remonta ya a finales del siglo IX-principios del siglo VIII a.C. y que el núcleo habitacional estaría localizado en la isla de Erytheia. Además, los materiales recogidos en las distintas intervenciones sugieren que este emplazamiento jugó un importante papel comercial en la economía de la época; de hecho, la presencia de cerámicas similares a la que se ha documentado en las excavaciones de la C/ Méndez Núñez - Plaza de las Monjas en Huelva (González de Canales *et al.* 2004), de fragmentos de lingotes de cobre, la presencia de un ponderal de plomo o de varios sellos de arcilla (Gener Basallote *et al.* en prensa) apuntan en este sentido, una situación que no sorprende si se considera la ventajosa posición geoestratégica de esta colonia fenicia. Pero, a pesar de la importancia que las fuentes literarias griegas y romanas atribuyen a la producción y al comercio de metales en Cádiz, en el estado actual de la investigación las evidencias de actividades metalúrgicas son todavía escasas. Es posible que en parte esta escasez sea debida a la imposibilidad de llevar a cabo excavaciones arqueológicas en extensión que podrían deparar un mayor número de hallazgos de este tipo, aunque no se puede excluir que la economía del poblado estuviera orientada hacia otro tipo de actividades –como por ejemplo la pesca (Córdoba y Ruiz Mata 2005: 1317), la producción de púrpura (Gener Basallote *et al.* en prensa), etc.– y que por tanto la producción de metales no jugara un papel determinante. Sin embargo, la comercialización de los productos resultantes de las actividades metalúrgicas –

¹¹ Quiero agradecer al director de la intervención arqueológica, Juan Miguel Pajuelo, de la empresa Bauen, y al equipo de la intervención –María de los Ángeles Navarro García y José María Gener Basallote– la posibilidad de estudiar los materiales metálicos y arqueometalúrgicos procedentes de los niveles fenicios del yacimiento. Esta excavación está promovida por el Ayuntamiento de Cádiz y por la Junta de Andalucía (Cádiz, 2006-2010).

independientemente de que se tratara de minerales, metal bruto o de objetos metálicos acabados— sí tuvo que ser para *Gadir* parte integrante de su economía. De hecho, si aceptamos la hipótesis sugerida por Ruiz Mata (1986) y Fernández Jurado (1993) de la existencia de un importante eje comercial que unía Aznalcóllar con Tejada la Vieja y San Bartolomé de Almonte para alcanzar finalmente Cádiz, este yacimiento constituiría la terminal de salida para estos productos, jugando un papel central también como centro redistribuidor.

Resultados significativos para el estudio de la presencia fenicia en la bahía gaditana se han obtenido también en el yacimiento del **Castillo o Torre de Doña Blanca**, situado a 4 km del Puerto de Santa María, al oeste de Cádiz y en el extremo occidental de la Sierra de San Cristóbal, enfrente de una zona lagunar.

También en esta área el paisaje paleogeográfico ha cambiado notablemente desde la época de la ocupación fenicia. Actualmente el yacimiento de Doña Blanca está instalado en la antigua desembocadura del río Guadalete pero originariamente constituía un poblado costero, ya que el mar alcanzaba las laderas de la sierra formando una amplia bahía. Esta posición permitía dominar una ensenada que favorecía el acceso al valle del Guadalquivir, un importante eje viario para el aprovisionamiento de los recursos procedentes del *hinterland* tartésico (Ruiz Mata 1999).

Las excavaciones arqueológicas en Doña Blanca empezaron a finales de los años setenta y han documentado una evolución urbanística con distintas fases: durante la fase más antigua, que va desde finales del siglo IX a todo el siglo VIII a.C., se ocupó solamente la zona sur-oriental; a principios del siglo VII a.C. hubo una renovación urbanística del poblado y esta fase dura hasta mediados del siglo VI a.C., cuando se documenta un nivel de destrucción; a partir de este momento empieza la tercera y última fase que termina con otro nivel de destrucción a finales del III siglo a.C. y que corresponde al abandono del yacimiento (Ruiz Mata 1999).

Durante estas investigaciones se excavaron también algunos tramos de muralla, un recinto imponente que tuvo que rodear el hábitat ya en el siglo VIII a.C.; asimismo, se identificó un conjunto de estructuras habitacionales, también fechadas en el siglo VIII a.C., que proporcionaron varios restos arqueometalúrgicos, como escorias, goterones de plomo, numerosos fragmentos cerámicos con escoriificaciones y adherencias metálicas de base cobre, etc. Además, en el interior de uno de estos ambientes se encontraron

almacenadas numerosas tortas de litargirio cuyo peso global supera los 1000 kg (Ruiz Mata 1989: 232; Hunt 1995: 452).

En un contexto de finales del siglo VIII-comienzos del VII a.C. se recogió también una tobera prismática de doble perforación, del tipo encontrado en varios yacimientos fenicios y en algunos centros indígenas como Cerro Salomón (Ruiz Mata 1989: 232 y 237).

La presencia de restos metalúrgicos no sorprende en un yacimiento como Doña Blanca que, situado en la desembocadura del río Guadalete, tuvo que constituir una salida natural para los recursos metalíferos de la provincia de Sevilla y de la Sierra Morena, con posibilidad de comunicación y acceso a los centros minero-metalúrgicos distribuidos a lo largo de la ruta que desde el distrito minero de Aznalcóllar alcanzaba esta terminal costera y, posiblemente, desde allí *Gadir* para su comercialización a más amplia escala.

Los resultados obtenidos por el análisis de isótopos del plomo de algunas muestras procedentes de Doña Blanca apoyan esta teoría de una conexión entre la explotación de los recursos mineros de la región sevillana y el litoral gaditano. De hecho, varios de los litargirios analizados tienen una signatura isotópica que parece relacionarse con las minas de Aznalcóllar, aunque en algunos casos podría vincularse también con Riotinto, ya que la composición isotópica de estas dos zonas mineras se solapa parcialmente.

Se han analizado por LIA también dos fragmentos de vasijas metalúrgicas utilizadas en la producción de bronce pero, como se ha observado en el caso de los centros minero-metalúrgicos onubenses, los resultados obtenidos para estas muestras no proporcionan datos claros que permitan concretar la procedencia de los materiales utilizados en los procesos metalúrgicos en los que se formaron estas escoriaciones (Hunt 2003: 250).

Toda la información actualmente disponible para los dos yacimientos instalados en la bahía gaditana, *Gadir* y Doña Blanca, apunta a que la implantación fenicia en esta zona tuvo un carácter dual, ocupando dos lugares estratégicos (Gener Basallote *et al.* en prensa): *Gadir* constituiría un emplazamiento costero bastante seguro, situado en la antigua isla de Erytheia, en una zona que permitía el acceso a la desembocadura del río Guadalquivir en el Lago Ligustino; mientras Doña Blanca, instalado en la paleo-desembocadura del río Guadalete, en el extremo occidental de la Sierra de San Cristóbal y frente a una amplia zona lagunar, constituía una importante vía de acceso al

hinterland que, aparte de otros posibles recursos naturales, permitía el aprovisionamiento de minerales.

De todos modos, hasta que no se lleven a cabo investigaciones arqueológicas más exhaustivas no se podrá determinar con seguridad la función de la antigua *Gadir* y su relación con el yacimiento de Doña Blanca en la estrategia colonial fenicia de la zona.

1.2.3 Las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén

Como se ha podido observar en la región de Huelva, también en las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén gran parte de los restos metalúrgicos antiguos procede de yacimientos indígenas en los que había habido un más o menos intenso contacto con los fenicios.

Por lo que concierne al área sevillana, se ha documentado una mayor presencia de centros minero-metalúrgicos en la zona occidental, con una especial concentración en el ya mencionado distrito de **Aznalcóllar**, cuyos depósitos ofrecen buenas posibilidades de explotación y presentan abundantes recursos argentíferos.

El interés arqueológico hacia esta zona minera surgió en 1988, dentro de un proyecto de investigación sobre actividades extractivas prerromanas en el suroeste español (Hunt 1995: 447). Las minas están situadas en el extremo suroriental del Cinturón Ibérico de Piritas, a menos de medio kilómetro del actual núcleo urbano de Aznalcóllar y a unos 35 km de Sevilla. Los primeros indicios de explotación de la zona se remontan al Calcolítico y las actividades metalúrgicas documentadas se pueden relacionar con el aprovechamiento de la malaquita para obtener cobre. Pero es en el Bronce Final cuando empiezan a aparecer numerosas evidencias de una más intensa explotación minera –aunque todos los restos metalúrgicos encontrados parecen estar vinculados exclusivamente a la metalurgia de la plata– y nacen varios poblados en las proximidades de las minas, como Los Castrejones, El Cerro del Castillo de Aznalcóllar y Torre del Viento (Hunt 1994: 38-40).

La relación de estos centros con el mundo fenicio ha sido documentada claramente sólo en **Los Castrejones**, donde ha habido investigaciones arqueológicas más intensas que han podido cubrir un área bastante amplia del poblado.

El yacimiento se sitúa a orillas del río Agrio, enfrente del Castillo de Aznalcóllar y adyacente a las minas. A excepción del lado sur –que está protegido naturalmente por unas laderas muy escarpadas– el hábitat fue dotado de una muralla en defensa de los

tres lados, que parece pertenecer a la última fase del Bronce Final (Hunt 1995: 448-449).

Durante la prospección arqueológica en Los Castrejones, aparte de numerosos materiales cerámicos fechados en un arco cronológico que va desde el siglo VIII hasta el VI a.C. –entre los que destacan los fragmentos de ánforas fenicias y de platos de barniz rojo– se recogieron abundantes restos relacionados con la producción de metales. En este conjunto de materiales arqueometalúrgicos hay que destacar más de 1 kg de mineral de gossan, numerosas escorias de “sílice libre”, goterones de plomo, fragmentos de vasijas metalúrgicas con escorificaciones, trituradores de mineral, morteros con cazoletas, molinos, etc.; también se han encontrado algunos objetos acabados, principalmente de bronce, y un fragmento de lingote circular de plata (Hunt 1994: 40).

Algunos de estos restos –principalmente escorias, dos nódulos de mineral, goterones de plomo, fragmentos de vasijas metalúrgicas y algún posible revestimiento de horno– fueron objeto de un estudio analítico que se llevó a cabo utilizando la Absorción Atómica y la Fluorescencia de Rayos X para determinar su composición elemental. También se llevaron a cabo análisis de isótopos del plomo (LIA) de los minerales encontrados en la zona con el fin de caracterizar los depósitos de Aznalcóllar (Marcoux 1998; Hunt 2003); asimismo, se analizó la composición isotópica de algunas escorias de “sílice libre” (Hunt 2003: 250).

Por lo que concierne a la composición elemental de las muestras, todos los materiales arqueometalúrgicos analizados están relacionados con el procesamiento de minerales argentíferos; prueba de ello son, aparte de las escorias de “sílice libre”, el contenido extraordinariamente elevado en plata del gossan, que puede llegar a superar las 7500 ppm Ag, y la presencia de más de un 25% de plomo en el fragmento de lingote de plata encontrado, que sugiere se trata de un régulo todavía sin refinar (Hunt 1994: 40).

También los fragmentos de cerámica con escorificaciones se relacionan con la metalurgia de plomo-plata, ya que contienen tasas elevadas de plomo y contenidos variables de plata de hasta casi 850 ppm Ag (Hunt 2003: 366).

Con respecto a la composición isotópica de las muestras de mineral analizadas, una vez caracterizado el depósito de Aznalcóllar, se pudo comprobar cómo los minerales allí recogidos presentaban una signatura isotópica similar a la de algunos de los litargirios encontrados almacenados en una habitación del Castillo de Doña Blanca, y de los que ya se ha hablado anteriormente (Hunt 1995: 454). Esta coincidencia entre la

composición isotópica de los litargirios de Doña Blanca y la de los minerales de Aznalcóllar confirma cuanto ya habían sugerido otros autores (Ruiz Mata 1986; Fernández Jurado 1993) basándose en la composición de las escorias y de los plomos analizados y en la procedencia de la cerámica, es decir la existencia de una ruta comercial para el transporte de mineral/metal (y quizás también de litargirio) entre Aznalcóllar y Cádiz. Sin embargo, la procedencia de las escorias de “sílice libre” de Los Castrejones no está clara ya que parecen ser el subproducto resultante de la mezcla de minerales de distinta procedencia o de minerales locales con plomo alóctono. Su composición isotópica se aproxima a la de otras escorias de “sílice libre” recogidas en los yacimientos onubenses de San Bartolomé de Almonte, Peñalosa y Tejada la Vieja, para las cuales también se ha considerado la opción de una mezcla de materiales de distinta procedencia (Hunt 1995: 454; 2003: 250).

El **Cerro del Castillo** está situado en el extremo norte del actual núcleo urbano de Aznalcóllar, en la orilla derecha del río Agrio; es un altiplano que conserva en varios puntos restos de un recinto amurallado y que parece poderse adscribir al siglo VIII a.C. En este yacimiento se llevaron a cabo sólo trabajos de prospección y el estudio de una sección estratigráfica de 25 m de longitud, en los que se encontraron algunos fragmentos de cerámica a mano del Bronce Final y escorias de “sílice libre” (Hunt 1995: 448-449). Se analizó la composición isotópica de una de estas escorias y los valores obtenidos coinciden con los depósitos minerales de Aznalcóllar (Hunt 2003: 250).

En cuanto a **Torre del Viento**, apenas hay datos disponibles debido al estado todavía preliminar de las investigaciones en el yacimiento. Se efectuó una prospección superficial del área durante la cual se recogieron algunos fragmentos de cerámica a mano y algunas escorias de “sílice libre” (Pérez Macías 1996: 128-129).

También en este caso se han utilizado los isótopos del plomo para identificar la posible procedencia de la materia prima empleada en el yacimiento y se analizaron dos fragmentos de escorias pero su composición isotópica no parece coincidir con ninguna de las mineralizaciones caracterizadas en ese momento (Hunt 2003: 250).

Por último, hay que mencionar la existencia de otro centro minero-metalúrgico en la zona, **Las Mesas**, que está situado al este y un poco más alejado del núcleo urbano de Aznalcóllar en relación con los otros tres yacimientos arriba descritos. Unas labores extractivas modernas pusieron al descubierto la sección de un fondo de cabaña en el que

se recogieron escorias del tipo de “sílice libre” en asociación con cerámica a torno fechada en el siglo VII a.C.; en la zona también se han encontrado varios ejemplares de morteros con cazoletas.

La estructura del poblado con fondos de cabaña excavados en las margas recuerda la situación observada, por ejemplo, en San Bartolomé de Almonte (Hunt 2003: 359 y 363-4).

La importancia que tuvieron la explotación minera y la producción de metales en esta época resulta evidente también en algunos centros ubicados en los alrededores de la ciudad de Sevilla, como Carmona, Setefilla (Lora del Río) y también el santuario de El Carambolo (Camas), en los que se han documentado abundantes evidencias de actividades metalúrgicas.

Estos yacimientos sevillanos presentan un elevado grado de orientalización y han proporcionado un registro material de especial riqueza, en el que destacan los bienes exóticos y los productos orientalizantes, sugiriendo que en esta zona el contacto entre las comunidades indígenas y los fenicios fue muy intenso, probablemente gracias a un activo comercio de los recursos mineros. De hecho, son varias las minas sevillanas en las que se han identificado restos de explotación prerromana, como por ejemplo en Guadalcanal, Cazalla de la Sierra y Constantina, entre otras (Martín y Rauret 1969: 385-386). Y además, no es casual que se haya encontrado una especial concentración de materiales orientales u orientalizantes a lo largo del valle del río Guadalquivir que constituía el eje portante para el intercambio comercial entre los poblados del interior y los centros costeros.

Carmona está situada en Los Alcores, en la Depresión del Guadalquivir, a pocos kilómetros de Sevilla. Su localización le proporcionaba una defensa natural óptima, con el acusado declive del Alcor protegiendo el poblado por tres lados y un bastión defendiendo el extremo suroeste que era el único desde el que se podía acceder al yacimiento. Además, desde esta amplia meseta se podían dominar los caminos que llevaban al Guadalquivir y al interior de la región.

En 1985 se inició un programa de arqueología preventiva en Carmona con el fin de preservar la riqueza del patrimonio arqueológico de la ciudad. Los resultados obtenidos a lo largo de las varias excavaciones de urgencia llevadas a cabo en el casco urbano permitieron observar cómo ya en el siglo VIII a.C. un núcleo estable de

población estaba asentada en la zona norte del Alcor y cómo en el siglo VII a.C. este centro alcanzó un gran desarrollo tanto desde un punto de vista urbano como demográfico (Belén *et al.* 2000: 1748).

Los datos actualmente disponibles para una correcta interpretación de la función de la antigua Carmona en las dinámicas poblacionales y comerciales de la región son todavía escasos y la comunidad científica sigue sin ponerse de acuerdo sobre el origen indígena o fenicio de su fundación, aunque es unánimemente innegable que hubo una fuerte influencia oriental en el desarrollo de la ciudad (al respecto véase, por ejemplo, Belén *et al.* 2000; Román Rodríguez y Belén 2007).

Durante las intervenciones arqueológicas de Pellicer y Amores (1985) empezaron a aparecer los primeros indicios de contactos entre tartésicos y fenicios, en los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica que se estaba excavando en un sector próximo al declive norte. Se trataba principalmente de fragmentos de cerámica a torno, en particular de ánforas, cerámica de barniz rojo y cerámica gris.

En excavaciones posteriores se encontraron también restos de edificios fechados en los siglos VII-VI a.C. y contruidos con técnicas edilicias de tradición oriental, como por ejemplo el muro de pilares de la Plaza del Higueral (Belén *et al.* 1993). Pero los resultados más significativos en este sentido se obtuvieron con las excavaciones realizadas en el barrio de San Blas, situado en el casco antiguo de la ciudad y que parece coincidir con el núcleo original del hábitat protohistórico. De hecho, en la Plaza del Marqués de Saltillo se encontraron varias estructuras pertenecientes a tres edificios superpuestos, fechados entre finales del siglo VII y mediados del siglo V a.C., realizados con técnicas constructivas de tradición fenicia; además se encontró asociado a estas estructuras un rico registro material de filiación claramente oriental –incluyendo varias cucharas de marfil y recipientes cerámicos con decoraciones que presentan claras connotaciones religiosas y simbólicas– que llevó a interpretar todo el complejo como un posible lugar de culto (Belén *et al.* 2000: 1749). De hecho, este descubrimiento obligó a replantearse el problema del origen tartésico o fenicio del yacimiento, ya que la existencia de un espacio religioso con materiales relacionados con prácticas de tipo oriental sugiere la presencia de una comunidad semita solidamente asentada en la zona. Asimismo, en las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en la Calle Diego Navarro (solar nº 20) se han encontrado varios restos de estructuras que corresponden a la fase inicial de ocupación del área (siglo VIII a.C.). Entre los restos excavados, merece especial atención una estructura constituida por cuatro muretes paralelos con claras

huellas de haber sufrido fuertes impactos térmicos. La interpretación de esta estructura es compleja ya que su excavación es parcial, pero los estratos asociados a su uso y posterior abandono sugieren que podría haber tenido alguna función metalúrgica ya que ha proporcionado abundantes cantidades de restos vinculados con operaciones de producción de metales, como carbones, escorias, fragmentos de mineral, restos de fundición y objetos metálicos (Román Rodríguez y Belén 2007). Con respecto a las escorias, se documentaron tanto subproductos de la metalurgia de base cobre como de la metalurgia del hierro; además, el hallazgo de un fragmento de galena podría estar indicando que en el yacimiento también se llevaban a cabo operaciones para la obtención de plomo (o plomo-plata). El estudio analítico de una selección de estos materiales está siendo llevado a cabo por nosotros en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid.

También en los niveles orientalizantes de la excavación en la Plaza del Higueral se han recogido restos de actividades metalúrgicas. El estudio analítico de algunos de estos restos, correspondientes a una escoria de bronce y a la escorificación adherida en el interior de un crisol en el que se estaba refundiendo chatarra, ha sido publicado en Rovira Llorens (2007) y en Renzi *et al.* (2007).

De todos modos, aunque todavía no se puedan avanzar hipótesis sobre la envergadura de las prácticas metalúrgicas en el yacimiento, los materiales recogidos sugieren que la producción de metales tuvo que jugar un papel importante en la economía del yacimiento ya desde sus primeras fases de ocupación.

Otro yacimiento que durante un largo tiempo ha sido considerado indígena por la comunidad científica y que, con el progreso de las investigaciones arqueológicas y una excavación en extensión, ha proporcionado nuevas evidencias para su reinterpretación como un espacio de posible tradición oriental, ha sido **El Carambolo** (Camas).

Este centro se encuentra a escasos kilómetros de Sevilla (3-4 km), en una colina con una altitud de aproximadamente 80 m snm. Actualmente está situado en el borde oriental de la meseta del Aljarafe sevillano y en la margen derecha del tramo inferior de la Vega Baja del Guadalquivir, pero en las fases más antiguas de su ocupación el hábitat tuvo que estar situado en la cola del paleoestuario del Guadalquivir (Fernández y Rodríguez 2010: 205-207, fig. 2).

Las investigaciones arqueológicas en El Carambolo empezaron en 1958 por el hallazgo casual, en una zona denominada “fondo de cabaña”, de un tesoro con

abundantes piezas de oro (Carriazo 1973). Más tarde se llevaron a cabo excavaciones también en la ladera de la colina que ahora se conoce como “poblado bajo” y las estructuras allí documentadas proporcionaron abundante material cerámico, destacando por cantidad la cerámica a torno fenicia, especialmente las ánforas y la cerámica gris (Ruiz Mata 1986: 549). Sin embargo, la riqueza de los hallazgos realizados durante estos antiguos trabajos arqueológicos llamó a la memoria de los excavadores los relatos de las fuentes clásicas sobre Tartessos y se consideró que El Carambolo fuera un yacimiento indígena, perteneciente a la cultura tartésica. Y según esta interpretación los estratos inferiores del “fondo de cabaña” corresponderían a la fase indígena mientras los niveles superiores y las estructuras de El Carambolo Bajo corresponderían a la fase de orientalización del yacimiento (Carriazo 1992: 53-85; Fernández y Rodríguez 2010: 203-204).

Recientemente el cerro de El Carambolo fue objeto de nuevas intervenciones arqueológicas, con una serie de campañas realizadas entre 2000 y 2005. Durante estos trabajos se documentó una secuencia de ocupación muy amplia aunque no siempre continua, que empezaba en el Calcolítico y alcanzaba con varias interrupciones los inicios del siglo XXI.

En la fase protohistórica del yacimiento se construyeron una serie de estructuras que conformaban un gran santuario y es aquí donde en 1958 se descubrió fortuitamente el tesoro, en la zona que entonces fue denominada “fondo de cabaña” y que ha sido re-excavada íntegramente en las últimas intervenciones, pudiéndose comprobar que se trataba de una fosa-basurero probablemente de carácter ritual. Además, la relación estratigráfica del fondo, los materiales cerámicos allí encontrados y las fechas radiocarbónicas obtenidas (1020-810 cal AC para su construcción y 791-506 cal AC para su amortización), han obligado a revisar la cronología inicialmente propuesta para esta fase ya que el foso pertenece a un horizonte plenamente colonial. Asimismo, un nuevo análisis de los materiales recogidos en las excavaciones de J. de M. Carriazo y de los objetos de carácter sacro encontrados de manera fortuita en los alrededores del yacimiento, junto con la función sagrada atribuida al conjunto de estructuras excavadas, indican el uso de prácticas rituales de origen próximo-oriental por lo menos desde finales del siglo IX a.C. A este propósito es imprescindible mencionar el descubrimiento en una estancia del complejo A de un altar en forma de piel de toro (Fernández y Rodríguez 2010).

La construcción de este espacio sacro en el Aljarafe sevillano podría estar relacionada con la navegación en el paleoestuario del Guadalquivir y con la fundación colonial de la ciudad de *Spal* (la actual Sevilla). Todas las características del santuario y también el registro material allí recogido apuntan a la existencia de un doble culto a Astarté y Baal, dos dioses vinculados al mundo de la navegación (Fernández y Rodríguez 2010: 241).

No trataremos las características del santuario, ya que recientemente ha sido objeto de una monografía a la que remitimos para su descripción detallada (De la Bandera y Ferrer 2010). A grandes rasgos, el conjunto sacro consta de dos módulos principales, el Complejo A –un edificio de carácter monumental– y el Complejo B que corresponde a edificios de carácter residencial (Fernández y Rodríguez 2010: 217). Y por lo que a nosotros respecta, es significativo que tanto en el edificio sacro principal como en las estructuras domésticas (Complejo B) se hayan documentado evidencias de actividades relacionadas con la producción de metales, especialmente en la fase fechada en el siglo VII a.C.

Ya Carriazo (1970) mencionaba que en la zona del “poblado bajo” se habían hallado pequeñas cantidades de mineral de hierro (hematites) y de escorias relacionadas aparentemente con la metalurgia del plomo, del cobre y de hierro (Hunt 2003: 357), y los trabajos de Fernández y Rodríguez (2010: 245) confirman que las actividades metalúrgicas documentadas estaban vinculadas con la “producción de bronce, cobre y en menor medida con la forja del hierro y la obtención de plata”. Además, durante estas excavaciones se han identificado también ocho posibles estructuras de combustión, seis de las cuales están localizadas en el Complejo A (Fernández y Rodríguez 2010: 242).

Estos hornos suelen presentar plantas de tendencia ovalada o circular, con diámetros que varían entre 1 y 3 m, y una cubierta en bóveda; se fabricaron en adobe con revestimientos internos de arcilla, limo y restos vegetales. Los mismos excavadores dudan de la funcionalidad de estos hornos ya que en su interior no se encontraron restos claramente relacionados con operaciones metalúrgicas; sin embargo, esta serie de construcciones estaba asociada a unas pequeñas fosas con evidentes huellas de afectación térmica y a estratos con cenizas y carbones, en los que se recogieron también fragmentos de toberas, vasijas cerámicas con escorificaciones adheridas, escorias y moldes. Estos niveles cenizosos se han interpretado como depósitos que se habrían formado por el uso de los hornos que parece durar hasta el abandono del yacimiento (Fernández y Rodríguez 2010: 243-246).

Es posible, como en el caso de San Bartolomé de Almonte, que estas estructuras interpretadas como hornos no se empleasen directamente en operaciones de obtención de metales, aunque sí podrían haber tenido alguna función no claramente identificada en estos procesos; su gran tamaño y la falta de claras evidencias metalúrgicas en su interior parecen apoyar esta hipótesis, así como su asociación con fosas afectadas por la acción del fuego, que podrían corresponder a las estructuras pirometalúrgicas propiamente dichas.

M. Hunt *et al.* (2010) han realizado un estudio analítico de algunos de los restos metalúrgicos encontrados en el complejo sacro a lo largo de las campañas arqueológicas llevadas a cabo entre el 2002 y el 2005. Por ED-XRF se han analizado un fragmento de mineral rico en plata (0,547% Ag), posiblemente gossan, y varias escorias resultantes de distintos tipos de procesos para la producción de metales, tanto de plomo, plomo-plata, cobre y bronce, como de hierro. Asimismo, se ha examinado la composición de varios objetos de base cobre y de siete fragmentos de moldes cerámicos en cuyas superficies, a pesar de no haberse observado ningún tipo de resto metálico, se ha detectado la presencia de elementos que sugieren su empleo no sólo en la bronceística sino también en la producción de elementos en plata y/o oro (Hunt *et al.* 2010: 283-287).

También se han efectuado análisis SEM-EDX de algunas escorias que han permitido observar características interesantes de estos materiales. Por ejemplo, en una escoria de “sílice libre” se ha podido apreciar claramente la presencia de inclusiones metálicas de plomo con plata, antimonio y algo de hierro; en las escorias de base cobre, que se han relacionado principalmente con la producción de bronce binario, se han detectado glóbulos de sulfuro de cobre con hierro y zonas ricas en estaño; y en la única escoria de hierro analizada se han observado las típicas fases composicionales que suelen encontrarse en este tipo de residuos, glóbulos de wustita y cristales de naturaleza fayalítica (Hunt *et al.* 2010: 276-279).

Igualmente, se han analizado por ED-XRF y por SEM-EDX varios fragmentos de vasijas metalúrgicas y de toberas de tipo cilíndrico, todos materiales relacionados con la producción de bronce binarios y ternarios (Hunt *et al.* 2010: 280-282). Por último, se ha estudiado la composición isotópica de algunas muestras, en particular de tres elementos de plomo (un goterón y dos objetos) y de una escoria de sílice libre. El goterón y uno de los objetos de plomo han resultado tener una composición isotópica similar entre ellos que se puede relacionar con la zona de Ossa Morena, mientras que el

segundo objeto de plomo presenta valores isotópicos compatibles con otros plomos del Cerro del Villar (Málaga). Con respecto a la escoria de “sílice libre”, su signatura isotópica la relaciona con otras escorias del mismo tipo procedentes de San Bartolomé de Almonte y Los Castrejones de las que se ha hablado anteriormente (Hunt *et al.* 2010: 288-291).

Otro yacimiento sevillano que merece la pena mencionar por estar relacionado con intensas actividades metalúrgicas es **La Mesa de Setefilla**, situado a 10 km de Lora del Río y a unos 55 km de la capital andaluza hacia el centro-norte de la provincia.

El yacimiento está situado en la margen derecha del río Guadalquivir, a pocos kilómetros de la fértil vega de Carmona, entre las estribaciones meridionales de Sierra Morena y del Valle del Guadalquivir, en una posición geográfica privilegiada para aprovechar tanto los recursos mineros de la sierra como las posibilidades agrícola-ganaderas del valle.

La Mesa de Setefilla es un cerro de gran extensión y con una altitud de 200 m snm, desde el que se puede dominar visualmente gran parte del Valle del Guadalquivir. Goza de una posición estratégica particularmente ventajosa ya que a los pies del cerro corre también un afluente del Guadalquivir, el Guadalbacar, y en sus proximidades se han documentado antiguas minas de cobre, plomo, plata y hierro (Aubet 1982: 38).

Las excavaciones en el poblado empezaron en 1975 y duraron hasta 1979. En la zona septentrional de la Mesa y debajo de los restos de un castillo medieval se recogió el mayor número de datos para establecer la cronología de las distintas fases de ocupación del hábitat, gracias a la formación de un relleno de niveles arqueológicos de 8 m de altura. Se realizaron tres cortes estratigráficos, de los cuales el Corte 3 es el que proporcionó gran parte de la información actualmente disponible sobre la ocupación prerromana del poblado, con una amplia secuencia estratigráfica que va desde aproximadamente el 1600 hasta el 400 a.C. (Aubet *et al.* 1983).

Los momentos cronológicos que nos interesan en este estudio son los de la última fase del Bronce Final y del periodo orientalizante.

En Setefilla el horizonte del Bronce Final, que abarca el siglo IX y la primera mitad del siglo VIII a.C., se relaciona directamente con los momentos más antiguos de ocupación de asentamientos como El Carambolo o el Cabezo de San Pedro en Huelva y también aquí las estructuras habitacionales corresponden a restos de cabaña. Asimismo, en la fase del Bronce Final –después del hiato documentado en la fase anterior, un

periodo de transición que va aproximadamente desde el 1300/1200 al 900 a.C.– empiezan a reaparecer evidencias de actividades metalúrgicas, especialmente escorias de base cobre, fragmentos de toberas y de vasijas metalúrgicas; además, en la ladera meridional del castillo se encontró una maza de minero fabricada en roca volcánica gris –del mismo tipo de las que se recogieron, por ejemplo, en la zona de Riotinto– que documenta la explotación de los recursos de la sierra (Aubet *et al.* 1983: 79).

Pero es sólo con la fase orientalizante que el poblado alcanza un notable desarrollo urbanístico, económico y social, como indica la sustitución de las cabañas con edificios de planta rectangular contruidos con zócalo de piedra, alzados en adobe y enlucidos internos, reflejando la prosperidad económica alcanzada por las comunidades locales. Asimismo, se observa una gradual generalización del uso de la cerámica a torno y un fuerte aumento de las actividades para la producción de metales: de hecho, se hallaron cantidades significativamente mayores de escorias, toberas y vasijas de uso metalúrgico con respecto a la fase anterior y se documentó también la aparición en el yacimiento de las primeras evidencias de la metalurgia del hierro (Aubet 1982). Sin embargo, no se encontró ningún resto que pueda ser claramente relacionado con la producción de plata. Entre los hallazgos metalúrgicos, merece la pena mencionar una tobera de alta calidad que presenta una superficie bruñida negra y decoración con acanaladuras, y la presencia de varios nódulos de mineral de hierro, aparentemente hematites (Aubet *et al.* 1983: 97, fig. 38, nº 197).

Este crecimiento económico, el cambio en el sistema urbanístico, la aparición de cerámica a torno y la mayor dedicación a la producción de metales, junto con la introducción de la siderurgia, son todos factores que están indudablemente vinculados a la presencia fenicia en la zona.

También la necrópolis asociada al yacimiento de Setefilla, fechada en el siglo VIII a.C. (Torres 1996), proporcionó restos relacionados con actividades metalúrgicas: por ejemplo, en la tumba 20 del Túmulo A se encontró un fragmento de tobera junto con varios recipientes cerámicos tanto indígenas como de filiación oriental, y con algunos elementos metálicos de base cobre y de hierro. Asimismo, en los niveles superficiales del Túmulo I se documentó otra tobera y el Túmulo F proporcionó un martillo de minero (Torres 1999: 93-95; Graells 2008: 336-337). También hay que mencionar el hallazgo en los alrededores del Túmulo A, entre unas tumbas más “pobres” correspondientes a enterramientos de niños y neonatos, de una sepultura de un varón

adulto que contenía varios objetos y herramientas de hierro que han sido interpretados como el ajuar de un metalúrgico o herrero (Aubert 1995: 404).

Como ya se ha observado para la necrópolis onubense de la Joya, la presencia de residuos metalúrgicos en varias de las tumbas de la necrópolis de Setefilla es indicativa de la importancia que tuvo que tener la producción de metales en la economía del yacimiento; además, la tumba con un ajuar constituido por las herramientas de un metalúrgico/herrero sería la primera evidencia de un reconocimiento especial a esta categoría de artesanos que, según varios estudios etnoarqueológicos, gozaban de cierto *status* privilegiado dentro de las comunidades en las que vivían (Hunt 2003: 371).

En el resto de la cuenca del Guadalquivir hay que destacar que la casi totalidad de los depósitos mineros de la zona han sido localizados en la mitad septentrional del valle del río; esta región corresponde a la parte de Sierra Morena situada en las provincias de Córdoba y Jaén. Se trata de un importante distrito minero en el que abundan recursos de cobre, plomo, hierro, estaño, oro y plata, y que todavía está poco estudiado desde el punto de vista arqueológico (Murillo 1994: 24).

Con respecto a la provincia de Córdoba, a finales de los años ochenta-principios de los noventa en la zona norte se llevaron a cabo una serie de prospecciones arqueológicas que permitieron esbozar un mapa de distribución de poblamiento durante la fase del Bronce Final-periodo orientalizante, objeto de este estudio.

En esta área se identificaron tres núcleos principales de poblamiento relacionados con la explotación de los recursos mineros locales, especialmente de cobre y de plomo argentífero: uno en el valle medio del río Guadiato, otro en Los Pedroches y el último en las estribaciones meridionales de la Sierra Morena. Y es aquí donde se ha observado la mayor concentración de centros minero-metalúrgicos de la región, con una cronología que abarca principalmente los siglos VIII-VI a.C. Estos centros suelen estar situados en zonas bien comunicadas por vía fluvial con los asentamientos fenicios de la costa con los que tuvieron intensos contactos comerciales, como indican las fuertes influencias orientalizantes documentadas tanto en la arquitectura como en el registro material, con una constante presencia de cerámica a torno de tradición semita (Murillo 1993: 270).

El impacto de la presencia de los colonos es especialmente evidente en los poblados de La Saetilla (Palma del Río) y en la Córdoba prerromana, en particular en la C/ Fontanar de Cabanos - Colina de los Quemados, probablemente también debido a que aquí las investigaciones arqueológicas han sido más intensas. Además, estos dos

yacimientos han proporcionado abundantes restos de actividades metalúrgicas pero curiosamente, a diferencia de los otros centros instalados en la zona, en ninguno de los dos casos hay minas en su entorno inmediato, debiendo por tanto corresponder sólo a centros de procesamiento del mineral que, con toda probabilidad, procedería de las minas situadas más al norte (Murillo 1994: 455).

El yacimiento de **La Saetilla** está situado en una pequeña mesa, al noreste de la Serrezuela, en la margen izquierda del río Genil. Aquí la influencia fenicia está documentada por una abundante presencia de cerámica a torno y por algunos restos arquitectónicos, como por ejemplo un muro de piedra y tapial, y todos estos elementos permiten proponer una cronología de principios del siglo VII a.C. (Mancebo Dávalos 1995: 20).

Con respecto al poblado de **Colina de los Quemados**, este yacimiento está situado entre la C/ Fontanar de Cabanos y el Parque Cruz Conde en la parte occidental de la actual ciudad de Córdoba, sobre un terreno amesetado de aproximadamente 110 m de altitud snm, paralelo al río Guadalquivir (Mancebo Dávalos 1995: 20).

Los primeros descubrimientos arqueológicos en la zona tuvieron lugar a mediados de los años sesenta debido a extracciones de tierra por parte del Ayuntamiento (Bernier y Fortea 1963; Luzón y Ruiz Mata 1973) y ya entonces se empezó a poner en relación los restos encontrados con la *Corduba* prerromana.

La secuencia estratigráfica documentada durante estas intervenciones situaba los inicios de la ocupación de la colina en el III milenio a.C., con una continuidad en el hábitat que llegaba hasta finales del siglo II a.C. (Murillo 1995).

En los niveles del siglo VIII a.C. ya empezaban a aparecer los primeros indicios claros de un estrecho contacto con gentes orientales, como indicaba la presencia en el registro cerámico de vasos que imitan formas fenicias y de varios fragmentos de cerámica a torno de tradición oriental (Mancebo Dávalos 1995: 20). Y no es casualidad que en esta misma fase se empezaran a documentar también restos de actividad metalúrgica, en particular se excavó “una capa de escorias de cobre que atestiguan la proximidad de un horno de fundición” (Marcos 1978: 418).

Las excavaciones fueron retomadas entre 1975 y 1976, y se desenterraron nuevos elementos vinculados con las actividades de producción de metales llevadas a cabo en el yacimiento, como “algunos martillos de piedra, fragmentos de cuarzo cuprífero, de

escorias de cobre y de un «galápago» o torta de fundición” (Marcos 1978: 420). Además, el mismo autor destacó el hecho de que estos hallazgos metalúrgicos eran más frecuentes en la fase orientalizante que en las épocas posteriores, y subraya cómo la gran extensión del poblado –de más de 1 km de longitud y 300 m de anchura– podría estar relacionada con la importancia que tuvo la producción de metales para la economía local. Esta situación se vería favorecida por la posición geográfica del yacimiento que se encuentra a escasa distancia de varias minas –por ejemplo Cerro Muriano está a unos 15 km– y en la margen derecha del río Guadalquivir, permitiendo la salida del metal hacia la costa (Marcos 1978: 420-421). De hecho, el volumen de los residuos metalúrgicos recogidos en las distintas excavaciones parece indicar que no se trataba de una producción a nivel doméstico, es decir destinada al autoconsumo, sino de un importante centro productor y redistribuidor de metal situado en la ruta que iba desde los cotos mineros de la zona septentrional hacia la costa (Luzón y Ruiz Mata 1973). En esta ruta, al margen de los poblados dedicados a la explotación minera, había también una serie de yacimientos con un claro carácter estratégico para el control del transporte del mineral y/o metal hacia los centros de procesamiento y redistribución situados en proximidad o a orillas del Guadalquivir, como es el caso de Colina de los Quemados. En efecto este poblado, estando ubicado donde el río Guadalquivir probablemente dejaba de ser navegable, construiría el último centro de una red de yacimientos que parece reproducir una estrategia territorial en parte ya observada en la zona onubense y sevillana, en el otro extremo de la Sierra Morena, en la que una de las rutas para el transporte del mineral salía desde Aznalcóllar y –pasando por Tejada la Vieja, San Bartolomé de Almonte y Peñalosa– utilizaba el curso del Guadalquivir y sus afluentes para llegar hasta el Castillo de Doña Blanca/*Gadir* (Murillo 1994: 455).

En el siglo VI a.C., como se ha podido observar en muchos otros yacimientos en los que la producción de metales tuvo un papel determinante en su economía, la antigua *Corduba* también sufrió una recesión de la producción metalúrgica, teniendo que reorientar sus actividades económicas hacia una mayor explotación agrícola que caracterizará la nueva fase turdetana y las siguientes fases de ocupación del yacimiento (Carrillo *et al.* 1999: 43).

Pasando a la provincia jiennense, la información disponible sobre esta zona en época orientalizante es todavía muy escasa. Sin embargo, el área de **Cástulo**, situada a 7 km del actual núcleo urbano de Linares, ha proporcionado datos importantes para

entender la envergadura de las actividades minero-metalúrgicas en este sector oriental de la Sierra Morena. Además, desde finales de los años sesenta, en los alrededores de la ciudad romana se efectuaron varias intervenciones en las que se recogieron cantidades significativas de materiales relacionados con la penetración de los influjos fenicios hacia el interior peninsular y estos hallazgos llevaron a investigar más detalladamente la zona (Blázquez y Valiente 1982). Y las excavaciones arqueológicas permitieron descubrir, aparte de varias necrópolis, algunos restos de estructuras que se han adscrito a la fase del Bronce Final. El área en la que se produjeron estos hallazgos está situada al pie del Cerro de La Muela –una de las lomas sobre las que se asienta la ciudad de Cástulo– y junto a la margen derecha del río Guadalimar, un afluente del Guadalquivir (Blázquez y Valiente 1981: 407-408).

En 1978 se realizaron tres sondeos en La Muela, en los que se documentó un complejo de estructuras que van desde el siglo VIII hasta la segunda mitad del siglo VI a.C. y que han sido interpretadas como los restos de un santuario. Este lugar de culto estaba formado por un área rectangular con altar y presentaba un pavimento de guijarros dispuestos en forma de tablero dibujando cuadros blancos y negros, cuyos paralelos más cercanos se encuentran en el Próximo Oriente y en el Mediterráneo oriental. Además, la técnica de construcción de los muros de piedra del complejo sacro es similar a la que se ha observado en varias colonias fenicias como, por ejemplo, en el yacimiento malagueño de Toscanos (Blázquez 1984: 397-398).

Asimismo, junto al templo se documentó un espacio destinado a operaciones metalúrgicas, como indicaba la presencia de una pequeña estructura de combustión con una base delimitada por piedras, un ánfora con utensilios mineros en el interior, posibles lingotes votivos en miniatura, numerosas escorias resultantes de la metalurgia tanto de base cobre como de plomo-plata, y una gran acumulación de nódulos de galena que alcanzaba un total de casi 7 kg (Blázquez y Valiente 1982: 418-421).

En este sector también se documentaron algunos machacadores, del tipo de los que se han encontrado en el Cerro Salomón (Huelva), y fragmentos de mineral. La Compañía La Cruz S.A. de Linares llevó a cabo el análisis de la composición de algunos de estos materiales arqueometalúrgicos recogidos, en particular se analizaron tres fragmentos de mineral, una escoria y un resto metálico oxidado. De acuerdo con los resultados publicados en Blázquez y Valiente (1981: 196-197), los minerales son de distinto tipo y corresponden en un caso a un silicato ferruginoso con algo de plomo y trazas de cobre, en otro caso a una galena y el tercer fragmento es un óxido de cobre con

poco plomo y trazas de plata; la escoria es de cobre con algo de plomo y no contiene cantidades apreciables de plata, mientras que el elemento metálico corresponde a un cobre sin alear totalmente remineralizado.

El santuario excavado podría estar consagrado a Astarté, una diosa que aparece en varias imágenes en Cástulo, aunque no se puede excluir que hubiera un doble culto, a una divinidad masculina y otra femenina, como se ha observado también para El Carambolo. Y al igual que en este último, nos encontramos de nuevo ante un lugar de culto en el que se ha documentado un espacio dedicado a las actividades metalúrgicas. Es interesante señalar la presencia de escorias, principalmente de hierro, también en el santuario de época orientalizante de Cancho Roano (Zalamea la Real), en Badajoz (Montero Ruiz *et al.* 2003: 210).

Esta asociación del ambiente religioso con la producción de metal ya ha sido documentada en varios espacios religiosos del Mediterráneo oriental. Por ejemplo en Chipre, en el santuario de Enkomi se ha documentado un culto a dos divinidades, una femenina y otra masculina, vinculadas con la explotación de las minas y con la metalurgia; asimismo, en los santuarios de Kition (Karageorghis y Kassianidou 1999) y de Tamassos –que como el de Cástulo también están dedicados a Astarté– se han encontrado instalaciones pirometalúrgicas y abundantes cantidades de escorias (para una visión general sobre esta cuestión remitimos al trabajo de García Gelabert y Blázquez 1996). Por tanto, la presencia en Cástulo de un santuario posiblemente de tipo oriental, en el que se han recogido materiales fenicios y restos de actividades metalúrgicas, obliga a plantearse la posibilidad de que en esta zona no hubo solamente una fuerte influencia semita sino que, si no se quiere suponer una presencia estable, grupos de fenicios tuvieron que frecuentar el lugar con asiduidad, probablemente por razones principalmente comerciales (García Gelabert y Blázquez 1996: 329). Sin embargo, a falta de nuevas evidencias, por el momento no hay datos suficientes para suponer que hubiera una estable presencia de los colonos en Cástulo pero es innegable que su influencia afectó significativamente tanto el desarrollo social como la economía y la cultura de las sociedades locales. Esta influencia fenicia (o presencia *in situ*) parece haber llegado en esta zona a partir de algún centro del Bajo Guadalquivir, de acuerdo con lo que parece sugerir la tipología de la cerámica allí documentada; pues la plata y/o la galena habrían sido transportadas por vía fluvial desde Cástulo hasta la costa, probablemente hasta Cádiz (Blázquez 1984: 398). De hecho, el proceso de enriquecimiento de la comunidad local y la importancia que adquirió este centro a partir

de finales del siglo VIII a.C. fueron una clara consecuencia de la explotación de los recursos mineros de la zona; tanto la abundancia de los restos arqueometalúrgicos documentados como la gran cantidad de galena almacenada en el santuario sugieren que la producción de plata pudo ser el factor determinante para el desarrollo social y económico del poblado.

1.2.4 Málaga y su provincia

Los asentamientos fenicios instalados en la costa malagueña han proporcionado abundantes evidencias de una economía fuertemente vinculada a las actividades metalúrgicas, especialmente a la producción del hierro.

La primera colonia fenicia en la provincia de Málaga relacionada con la producción de metal y que fue objeto de un estudio especializado para una caracterización de los restos metalúrgicos allí encontrados fue el **Cortijo de los Toscanos** o simplemente **Toscanos** (Vélez Málaga), un yacimiento situado sobre una colina de aproximadamente 30 m snm, entre la margen occidental del río Vélez y el declive oriental del Cerro del Peñón (Niemeyer 1997).

Durante el periodo de ocupación fenicia, el curso inferior del río presentaba una amplia bahía que penetraba hacia el interior y por la cual pudieron circular embarcaciones hasta principios de la edad moderna. La colina de Toscanos se encuentra en el punto en el que la orilla occidental de esta bahía se juntaba con la línea de costa, formando una pequeña península (Schubart 2002: 209).

Las excavaciones en el yacimiento y en sus alrededores empezaron en 1964 y continuaron con algún intervalo hasta por lo menos la mitad de los años ochenta, mostrando una secuencia ocupacional que va desde mediados/finales del siglo VIII hasta mediados del siglo VI a.C. Durante estos trabajos arqueológicos se desenterraron varias estructuras de viviendas, posibles cabañas y un edificio que parece corresponder a un almacén, como sugiere la gran cantidad de fragmentos de ánforas allí encontrados. Asimismo, los resultados obtenidos con estas intervenciones pusieron de manifiesto la importancia que tuvo la metalurgia en la economía del yacimiento, especialmente la del hierro, ya que la mayoría de los hallazgos se relaciona con actividades siderúrgicas, aunque también se han documentado evidencias de metalurgia del cobre (Niemeyer 1997: 64-65).

Aparte del abundante número de escorias recogidas, se han documentado varios fragmentos de toberas cilíndricas, corniformes y de sección prismática con doble

perforación (Niemeyer 1982: 116-117; Schubart y Maass-Lindemann 1984: 147). También se han encontrado algunos objetos metálicos, aunque la gran mayoría estaba del todo remineralizada debido a intensos fenómenos de corrosión (Schubart y Maass-Lindemann 1984: 147).

Otra cantidad significativa de materiales arqueometalúrgicos procede del cercano **Cerro del Peñón**, uno de los cerros sobre los cuales se extendió el yacimiento fenicio en el siglo VII a.C. Esta colina tiene aproximadamente 93 m de altitud y se encuentra al este del hábitat de Toscanos (Keesmann *et al.* 1989).

En 1984, en el declive oriental del cerro se encontraron los restos de una estructura pirometalúrgica obtenida excavando la cubeta directamente en la roca virgen, y estaba cubierta por estratos de tierra negruzca que contenían restos de carbón y numerosas escorias. El “horno” estaba muy mal conservado, presentando sólo una fosa de tendencia ovalada de unos 30 cm de ancho y 30-40 cm de profundidad, y es posible que estuviera cubierto con una cúpula, como sugiere el hallazgo de varios adobes dentro y en los alrededores de la cubeta. Delante de la estructura de combustión se encontraron algunos fragmentos de toberas de doble perforación y se menciona también el hallazgo de varios fragmentos de vasijas de uso metalúrgico y de una torta de fundición, pero no se especifica de qué metal se trata.

Las grandes cantidades de escorias y de otros materiales metalúrgicos encontradas en esta zona parecen indicar que habría más hornos y, por tanto, podrían sugerir que estamos ante una zona industrial especializada en la producción de metales (Niemeyer 1997).

Keesmann *et al.* (1989) efectuaron una selección de algunos de los residuos encontrados en Toscanos y en el Cerro del Peñón para su estudio en el laboratorio, efectuando análisis con un microscopio óptico de polarización y análisis químicos con microsonda electrónica. Se analizaron algunas escorias férricas que, en todos los casos, han sido interpretadas como subproductos de operaciones de post-reducción de hierro, es decir resultantes de las fases posteriores a la obtención primaria del metal; también se estudiaron restos de hierro oxidado –que a veces presentan abundantes incrustaciones de escoria sugiriendo que podría tratarse de fragmentos de lupia–, algunas escorias y fragmentos de vasijas metalúrgicas relacionadas con la obtención de cobre y bronce.

Otra colonia fenicia que ha proporcionado abundantes evidencias de actividades para la producción de metales ha sido el **Morro de Mezquitilla** (Algarrobo). Este yacimiento está situado en una colina con una altitud de unos 30 m snm, al este de la desembocadura del río Algarrobo y en la parte de arriba del pueblo de pescadores de La Mezquitilla.

Las excavaciones en el Morro se llevaron a cabo entre finales del los años sesenta y principios de los ochenta, y permitieron diferenciar claramente la fase de ocupación calcolítica del cerro y los estratos correspondientes al asentamiento fenicio de principios del siglo VIII a.C. (Schubart 1997: 13-15; Schubart 1999).

Ya en las primeras fases de frecuentación fenicia se han documentado restos de talleres artesanales (horizontes A/B1 y B1) y en algunos de ellos se han identificado varias estructuras de combustión relacionadas con operaciones metalúrgicas. Asociadas a estas estructuras se han hallado abundantes escorias, en gran parte procedentes de la producción de hierro, fragmentos de toberas y de vasijas con escorificaciones adheridas y algunos “coladores” similares a los que se han documentado en varios yacimientos onubenses. Los excavadores interpretaron este conjunto de estructuras como los restos de un posible taller metalúrgico destinado a la forja de hierro, a la fundición y reciclaje de metal de base cobre y probablemente también a la elaboración de objetos, aunque no se menciona ningún hallazgo de fragmentos de molde. Los excavadores consideran que no hay evidencias suficientes para afirmar que allí se estuvieran procesando también minerales, ya que -asociando las operaciones de reducción a la presencia de grandes escoriales, como las que se han documentado en época romana-, el volumen de escorias debería ser sensiblemente más elevado del que se ha documentado; además, sugieren que en este caso los hornos presentarían una mayor afectación por las altas temperaturas alcanzadas durante los procesos de reducción (Schubart 1985: 148).

En el Corte 21 se halló el núcleo central de este taller, con cuatro hornos situados por parejas a unos 40 cm de distancia el uno del otro y parcialmente preservados, ya que posteriormente fueron amortizados por la construcción de algunas viviendas. También se han identificado los restos de otras dos posibles estructuras de combustión pero su interpretación no es del todo segura (“hornos” 5 y 6). La única estructura pirometalúrgica bien conservada fue excavada en el Corte 23 y sus características y morfología proporcionaron datos que han permitido ofrecer una posible reconstrucción también para los hornos encontrados en el Corte 21 (Schubart 2006: 86-97).

El horno 1 presentaba un zócalo de piedra construido sobre la roca madre que podría corresponder a los restos de una estructura pirometalúrgica anterior; de hecho, parece que en la misma zona se construyeron más hornos que fueron amortizados después de su uso, siendo éste el último de la serie. Tiene un diámetro externo de 66 cm –incluyendo el revestimiento de piedra y arcilla– y uno interno de 40-50 cm, conservando parte la pared con una altura de 10-14 cm.

Muy cerca de esta estructura se encontró el horno 2 –con 60 cm de diámetro externo y 50 cm de diámetro interno– en el que todavía se podía apreciar la curvatura de la pared. Alrededor de estas dos estructuras se extendían estratos formados por abundantes restos de carbón y escorias.

Aproximadamente a 4 m de estos, se identificaron los hornos 3 y 4. Del horno 3 sólo se conservaba una mancha circular irregular de 40-45 cm de diámetro. Tampoco el horno 4 presentaba un buen estado de conservación, insinuándose sólo su forma circular con unos 60 cm de diámetro. Nuevamente, se encontraron restos de carbón, ceniza y fragmentos de toberas asociados con estas instalaciones.

Con respecto a los “hornos” 5 y 6, se encontraron únicamente manchas de carbón, ceniza y bloques de arcilla con signos de afectación térmica que han sido interpretados como los restos de unos hornos destruidos.

Pero estas estructuras de combustión no son las únicas evidencias de los procesos metalúrgicos realizados en el Morro de Mezquitilla: debajo del “horno 6” se excavó un hoyo de grandes dimensiones (1,90 m de largo y 1,29 de ancho, con casi 90 cm de profundidad), en el que se encontró cerámica calcolítica, fenicia, restos de escorias férricas y toberas, documentando que anteriormente al horizonte de los “hornos” ya se estaban llevando a cabo actividades metalúrgicas, como además sugería el horno 1 que estaba asentado directamente sobre la roca madre y que debe interpretarse como el testimonio más antiguo de la producción de metales en el yacimiento.

Otros hoyos de las mismas dimensiones y profundidad se encontraban a poca distancia del arriba mencionado, en el Corte 20/21; también los estratos de relleno presentaban materiales similares a los que se encontraron debajo del “horno 6”. Sin embargo, ni la forma ni el relleno de estos hoyos han proporcionado información útil para determinar la función original de estas fosas, aunque es probable que estuvieran relacionadas con las operaciones metalúrgicas llevadas a cabo en el taller.

Pasando al horno excavado en el Corte 23, esta estructura presentaba un buen estado de conservación y fue utilizada durante varias fases pero sólo se excavó parte de

ella, la que estaba incluida dentro del corte y correspondiente a un tercio de su tamaño original. Presentaba una altura de 55 cm y, en el perfil, se apreciaba un diámetro de aproximadamente 1,20 m; la planta era circular y se conservaba buena parte de la pared, aunque en varios puntos los bloques de arcilla que la constituían se encontraban desplazados.

Junto al lado oriental del horno, en un punto en el que aparentemente había una apertura (simétrica a la que se identificó en el otro lado del horno), se encontró una tobera prismática de doble perforación con la boca parcialmente vidriada, que probablemente estaba todavía *in situ*.

Keesmann y Hellermann (1989) realizaron un estudio analítico de algunos de los materiales arqueometalúrgicos recogidos en la zona del taller. Como para los materiales procedentes de Toscanos y del Cerro del Peñón, se efectuó una selección para su análisis por microscopia óptica y por microsonda electrónica, que incluía escorias de hierro y de base cobre, algún resto de hierro oxidado y fragmentos cerámicos con escorificaciones adheridas.

De nuevo, todos los materiales férricos estudiados corresponden a restos resultantes de actividades de post-reducción de hierro, ya que los autores no han identificado ninguna posible evidencia de la reducción de minerales en el yacimiento. Con respecto a la metalurgia de base cobre, los residuos analizados también corresponderían a materiales resultantes de la fundición y no de la obtención primaria de metal. La presencia de abundante plomo en varios de los fragmentos de vasija indica la producción de bronce ternarios aunque no se excluye la posibilidad de que el uso de estos recipientes estuviera relacionado con la metalurgia de (cobre)-plomo-plata (Keesmann y Hellermann 1989: 108).

Asimismo, se llevaron a cabo análisis por ED-XRF de la composición de numerosos objetos metálicos; los resultados se recogen en Giumlia-Mair (1992) y Mansel (2000), en cuyos trabajos se muestra el predominio de bronce pobres y de cobres sin alear.

El **Cerro del Villar**, un yacimiento situado a pocos kilómetros al oeste de la ciudad de Málaga, también ha proporcionado abundantes evidencias de actividades metalúrgicas.

Actualmente, el Cerro del Villar es un promontorio que domina las tierras aluviales del valle pero en la Antigüedad constituyó una isla situada en el delta del río

Guadalhorce, cerca de su desembocadura. Por tanto, la posición de este emplazamiento permitía controlar la amplia bahía de Málaga y también la desembocadura del río más importante de la región (Aubet 1997: 197).

En el yacimiento se han realizado numerosas excavaciones que han tenido distintas fases, llegando hasta el 2004. De estas intervenciones, los resultados obtenidos en las campañas de 1987 a 1995 han sido objeto de un estudio monográfico y han permitido registrar una secuencia de ocupación que va desde la mitad del siglo VIII hasta la primera mitad del VI a.C. (Aubet *et al.* 1999).

En la periferia del yacimiento se documentó la existencia de una zona industrial en la que se producía cerámica; este taller alfarero se dedicaba principalmente a ánforas y grandes contenedores de transporte, indicando que el centro estaba muy activo en la red comercial de la época (Aubet 1997: 198). En este mismo sentido apuntan las abundantes evidencias de actividades metalúrgicas documentadas en un área de viviendas del siglo VII a.C. (Sector 8) y en una zona de hornos del siglo VIII a.C. (Sector 9) en el extremo norte del yacimiento (Aubet *et al.* 1999: 18). Estos residuos son resultantes principalmente de actividades siderúrgicas pero también se han documentado materiales relacionados con la producción de metales de base cobre, plomo y, como se verá más adelante, posiblemente también con una metalurgia de (cobre)plomo-plata (Renzi *et al.* 2007).

Las evidencias más antiguas de estas actividades proceden del Sector 9 en el que se excavó una estructura de combustión delimitada por piedras que mide unos 70 cm de largo y 32 cm de ancho; en su interior se recogieron carbones, laminillas férricas resultantes de la forja del hierro y un fragmento de tobera prismática de doble perforación (Rovira Hortalà 2005: 1262).

En una vivienda del Sector 8 se localizó un espacio que también estuvo dedicado a actividades de producción de metales, llevadas a cabo en un patio parcialmente cubierto; este patio presentaba en la zona central una estructura pirometalúrgica, probablemente una fragua, constituida por una cubeta con un revestimiento interno en material refractario. Dentro de este espacio se excavó además una pequeña banqueta de piedra o murete que lo dividía en dos partes, y una de ellas (la septentrional) ha proporcionado abundantes escorias y laminillas férricas junto con una treintena de fragmentos de toberas que estaban situados alrededor de la fragua.

En el mismo Sector 8, en otra zona, se documentaron también fragmentos de vasijas de reducción en las que se estaban produciendo metales de base cobre

M.C. Rovira Hortalà (2005) realizó un estudio preliminar mediante fluorescencia y difracción de rayos X de algunos de los materiales ferrosos encontrados en los sectores 8 y 9, en particular escorias y alguna laminilla de forja. Gran parte de las escorias férricas corresponden a calotas de perfil plano-convexo y forma ovalada, un tipo que suele asociarse a operaciones de post-reducción de hierro; según la autora, los resultados obtenidos confirmarían que se trata de materiales relacionados con la purificación de las esponjas férricas y con la posterior elaboración de objetos (Rovira Hortalà 2005: 1266-1267).

Otras evidencias proceden de la vivienda denominada “Edificio 2”, situada en el sudeste del yacimiento, junto a la orilla oriental del río. Se trata de un edificio de dimensiones bastante modestas en comparación con otras viviendas excavadas en el asentamiento, y estaba dotado de una pequeña estancia que se empleó para actividades rituales, como indicaban los materiales allí encontrados que tienen un claro significado simbólico. Asimismo, este edificio disponía de un espacio (espacio 6) dedicado a trabajos metalúrgicos que en este caso se centraron principalmente en el beneficio de plata y cobre, de acuerdo con lo que sugiere la presencia de fragmentos de mineral, goterones de plomo y escorificaciones que están todavía en proceso de estudio por parte de M. Hunt (Delgado Hervás 2008: 75-77). No se pudo identificar ninguna estructura de combustión pero sí se apreciaba una mancha sobre el suelo producida por la acción del fuego y pequeñas gotas de plomo en un hoyo cercano (Delgado Hervás 2011).

Con respecto a este edificio, es interesante notar de nuevo la asociación en un mismo espacio de un taller metalúrgico con prácticas rituales, como ya se ha comprobado en El Carambolo, en Carmona y en el más tardío santuario de Cancho Roano, entre otros. Y también es interesante mencionar que tanto en este Edificio 2 como en el Sector 8, las operaciones metalúrgicas coexistían con actividades domésticas dentro de las mismas viviendas, una situación que ya ha sido documentada en otros yacimientos contemporáneos, como por ejemplo en sa Caleta en Ibiza (Ramón Torres 1991), en el Cerro Salomón en Huelva (Blanco *et al.* 1970) o en el mismo La Fonteta en la provincia de Alicante.

En un área relativamente cercana al promontorio sobre el que se asienta el Cerro del Villar, que corresponde a las obras de Ampliación del Aeropuerto de Málaga, recientemente se ha documentado otro importante yacimiento fenicio que ha deparado abundantes restos arqueometalúrgicos. **La Rebanadilla** está ubicado en una pequeña

isla en el estuario del Guadalhorce, a unos 2 km hacia el norte del Cerro del Villar (Sánchez Sánchez-Moreno *et al.* 2011).

Durante las intervenciones se han identificado cuatro fases de ocupación del yacimiento que van desde la segunda mitad del siglo IX hasta la mitad del siglo VIII a.C. Por tanto el lugar tuvo una frecuentación breve y ya desde los primeros momentos de ocupación las actividades metalúrgicas tuvieron que jugar un papel importante en la economía del yacimiento.

En la fase IV, la más antigua, se han documentado grandes estructuras excavadas en el sustrato geológico que corresponden a posibles fondos de cabaña en los que se estaban llevando a cabo operaciones para la producción de metales. Una de estas estructuras presentaba en su interior varios estratos cenizosos con abundantes restos de fundición y escorias de base cobre, goterones de plomo y algunos objetos acabados. En otras estructuras de la misma fase se encontraron un fragmento de lingote plano-convexo de cobre, una pequeña lingotera de cerámica y un molde lítico para orfebrería. Asimismo, en la última fase (fase I) se ha excavado un conjunto de estructuras construidas sobre el derrumbe de los edificios anteriores que corresponden a talleres industriales, en particular a talleres metalúrgicos, como indica la presencia junto a estas estructuras de un vertedero formado en gran parte por fragmentos de toberas, todas del tipo prismático de una perforación, con restos de carbón, ceniza y escorias.

En los últimos momentos de ocupación, el yacimiento parece tener una vocación puramente industrial y su frecuentación sería estacional y dispersa, a diferencia de lo que se ha documentado en los momentos anteriores.

El estudio analítico preliminar de algunos de los materiales metalúrgicos recogidos en La Rebanadilla indica que se estaban llevando a cabo operaciones tanto para la obtención primaria de cobre y bronce como la fundición del metal obtenido para la elaboración de lingotes y objetos acabados; se han documentado también evidencias de metalurgia del hierro que están todavía pendientes de ser estudiadas.¹²

Pasando a la ciudad de Málaga, desde mediados de los años noventa se han estado llevando a cabo excavaciones de urgencia en distintas zonas del casco urbano que han permitido poner a la luz varias evidencias de su ocupación antigua.

¹² El estudio analítico de estos materiales está siendo llevado a cabo por nosotros en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC y del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) de Madrid. Quiero agradecer a Vicente M. Sánchez y a Lorenzo Galindo de Arqueostudio la posibilidad de presentar algunos de los datos obtenidos que están todavía inéditos.

Las intervenciones efectuadas en un solar en la zona norte del barrio de La Trinidad, en la **Plaza de San Pablo**, han documentado la existencia de un poblado indígena de la última fase del Bronce Final/periodo orientalizante con una notable componente fenicia en su registro material. En este momento no se conoce su posible extensión, pero en la cercana C/ Mármol, a unos 50 m al sur de la Plaza de San Pablo, se han encontrado otros restos que pueden ser relacionados con este poblado (Fernández Rodríguez *et al.* 1997).

En el yacimiento de San Pablo –que estaba ubicado sobre una pequeña elevación, cerca de la margen occidental del río Guadalmedina y a sólo 6 km del Cerro del Villar– se han excavado seis estructuras, de las cuales todas tienen forma circular con una única excepción que presenta forma ovalada y mayores dimensiones. Las estructuras circulares corresponden a silos, es decir que funcionaban como espacios para el almacenaje, mientras la estructura que tiene forma ovalada ha sido interpretada como una cabaña, de acuerdo con el abundante número de restos de cocina allí encontrados. En este mismo espacio se han recogido algunos restos resultantes de actividades metalúrgicas, como varios fragmentos de vasijas metalúrgicas, un fragmento de tobera prismática de doble perforación y algunos nódulos de mineral de cobre, probablemente malaquita; todos ellos indican la producción de metales de base cobre sin que hasta la fecha se hayan identificado indicios de metalurgia del hierro. También aquí, como en el Cerro del Villar y en otros yacimientos contemporáneos, nos encontramos ante un espacio utilizado tanto para actividades domésticas como para procesos pirometalúrgicos (Fernández Rodríguez *et al.* 1997: 242-246).

El poblado se abandona a principios del siglo VII a.C. y se ha supuesto que su ocupación fuera sólo estacional. Su ubicación, próxima a *Malaka* y a escasos kilómetros del Cerro del Villar, sugiere que la razón de su fundación esté relacionada de alguna manera con estos asentamientos fenicios –siendo probablemente debida a las relaciones comerciales entre las comunidades locales y los colonos– ya que no se había documentado la instalación de ningún poblado indígena en la zona costera malagueña en una época anterior a la presencia de los fenicios (Fernández Rodríguez *et al.* 2001: 300).

Con respecto a *Malaka*, la colonia fenicia que corresponde al núcleo original de la actual Málaga, se han efectuado una serie de intervenciones arqueológicas en pleno casco antiguo de la ciudad que han proporcionado importante información sobre sus

orígenes. Inicialmente los datos arqueológicos obtenidos por los trabajos llevados a cabo en los años ochenta y a mediados de los noventa sugerían que la fundación de *Malaka* fuera más tardía con respecto a otros yacimientos fenicios cercanos (por ejemplo el Cerro del Villar) y que tendría una datación dentro del siglo VI a.C. (García Alfonso 2007: 123). Sin embargo, las recientes excavaciones en el Palacio de Buenavista (sede actual del Museo Picasso) y en la zona del antiguo espolón sobre el que se encuentra actualmente la Catedral, han permitido identificar restos edilicios que sugieren el desarrollo del núcleo urbano ya en el siglo VII a.C.

La *Malaka* fenicia corresponde a un espacio formado por dos colinas, una que coincide con la localización de la Alcazaba islámica y otra, la más baja, en la que está situada la Catedral. La colina de la Alcazaba constituiría el *arx* de la ciudad antigua y en el siglo VII a.C., probablemente a mediados, la ocupación de la ciudad se habría extendido en una zona más baja (Arancibia y Mora 2011: 178-179).

Las intervenciones en las calles Císter y San Agustín, en la zona de la Catedral, han permitido documentar la existencia de un posible santuario fenicio fechado en el siglo VII a.C y amortizado en la mitad del siglo siguiente, con características similares a las de otros santuarios de tradición oriental contemporáneos o más antiguos, como por ejemplo el de El Carambolo (Arancibia y Escalante 2006: 337-338). Es probable que la edificación de este lugar de culto esté relacionada con la más antigua ocupación de esta zona y no ha de extrañar que en la cercana excavación del Museo Picasso se hayan documentado también abundantes evidencias de actividades metalúrgicas, aunque por el momento no se ha podido documentar una directa relación entre el santuario y las estructuras del “taller metalúrgico”.

Tanto en la intervención en el Museo Picasso como en la de la C/ Císter-San Agustín, la fase de ocupación más antigua se apoya sobre el nivel geológico y, superpuesto a este sustrato, se observa la presencia de un paleosuelo arcilloso en el que se ha documentado una abundante presencia de escorias junto a varios fragmentos de toberas, carbones y cenizas. Todos estos materiales arqueometalúrgicos han sido adscritos al siglo VII a.C., probablemente a mediados de este siglo, y perduran hasta principios del siglo siguiente (Arancibia y Escalante 2006: 342-344).

Se excavaron también los restos de una serie de estructuras de combustión en cuyos alrededores se recogieron numerosas escorias de base cobre y de hierro. En la misma zona se pudieron documentar también pequeños canales cuya interpretación no está del todo clara. Solamente en La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante) se han

excavado unos canales similares conectados con una serie de pequeños hoyos que sus excavadores han relacionado en un primer momento con la realización de actividades metalúrgicas (González Prats y Ruiz Segura 1999: 225-227) aunque recientemente han sugerido que podría tratarse de los restos de un embarcadero (González Prats 2007: 77). Los canales documentados en *Malaka* estaban “reellenos de abundantes restos de escorias ligeras que apuntan a un beneficio directo de los carbonatos de cobre locales” (Arancibia y Mora 2011: 179), pero falta un estudio analítico de estos residuos para confirmar su naturaleza.

En una zona más alejada de la capital (a unos 100 km aproximadamente), al otro lado de la bahía con respecto a los asentamientos de Toscanos-Cerro del Peñón y del Morro de Mezquitilla, se encuentra otro yacimiento indígena que ha proporcionado alguna evidencia de actividades metalúrgicas y que ha sido objeto de recientes investigaciones arqueológicas. Se trata de **Los Castillejos de Alcorrín** (Manilva), un poblado situado sobre un cerro amesetado de unos 165 m de altitud, en el límite occidental de la provincia de Málaga y a 5 km de la línea de costa actual. Desde esta elevación, que es una de las colinas que delimitan el valle del río Guadiaro (del que dista 6 km), se domina visualmente tanto el litoral como el territorio que lo rodea, pudiéndose ver por el oeste hasta la Sierra de Mijas y por el este hasta el Peñón de Gibraltar y el litoral norteafricano, cerca de Ceuta (Marzoli *et al.* 2010: 154).

Las primeras investigaciones en Los Castillejos empezaron en 1989 pero fue sólo a partir de 2004 cuando el sitio fue objeto de excavaciones arqueológicas sistemáticas (Suárez Padilla 2006). El poblado está fortificado con una imponente muralla que rodea toda la colina sobre la que está asentado (López Pardo y Suárez Padilla 2003: 81), y su secuencia cronológica –de acuerdo con las nuevas dataciones publicadas– abarca desde el último cuarto del siglo IX a.C. hasta todo el siglo VIII AC cal (Marzoli *et al.* 2010: 171-175).

A pesar de la amplitud de la zona excavada, el registro material recogido a lo largo de las campañas es escaso y está constituido casi enteramente por cerámica, en gran parte fabricada mano; se han encontrado sólo unos pocos ejemplares a torno de filiación fenicia que corresponden principalmente a ánforas y morteros. Merece la pena mencionar la presencia de dos grafitos fenicios, el primero inciso sobre un fragmento de cerámica a mano y el otro sobre uno a torno (Marzoli *et al.* 2010: 170-171), que indican

una estrecha relación entre la comunidad local y los colonos o la presencia de un grupo fenicio en el yacimiento.

Destaca la casi total ausencia de elementos metálicos, habiéndose documentado hasta la fecha un único objeto que corresponde a un remache de base cobre. Sin embargo, se han recogido algunas escorias de hierro en uno de los sondeos realizados en 2004, en una zona adyacente al frente sur del interior de la muralla, en los niveles de colmatación del recinto amurallado que fueron amortizados por la destrucción de la estructura. Se trata de una zona de excavación de dimensiones reducidas que ha deparado sólo unos pocos fragmentos de escorias que no estaban asociados a ningún otro residuo relacionado con la obtención de metales ni con alguna estructura de combustión. Por tanto, por el momento, sólo se puede afirmar que en Los Castillejos de Alcorrín se estaban llevando a cabo operaciones metalúrgicas, sin poder avanzar ninguna hipótesis sobre la importancia de esta producción metalúrgica (Suárez Padilla 2006: 378). Sin embargo, el estudio analítico de las escorias recogidas –que ha sido efectuado por nosotros en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC y del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) de Madrid, y que está todavía pendiente de ser publicado¹³– ha proporcionado información de sumo interés, ya que se trata de subproductos resultantes del aprovechamiento de minerales complejos de hierro, probablemente una mezcla de óxido-sulfuros ricos en níquel y arsénico.

Merecen una última mención los yacimientos indígenas de *Acinipo* (Ronda la Vieja, Ronda) y el que se excavó en el casco urbano de la actual **Ronda**, que han proporcionado cantidades relevantes de restos metalúrgicos relacionados principalmente con la producción de metales no-ferrosos pero también con la metalurgia del hierro.

Ambos yacimientos presentan características y cronología similares; los primeros indicios de ocupación se fechan dentro del II milenio a.C. y corresponden a restos de cabañas realizados con materiales perecederos.

En la fase IVB de *Acinipo* y en la fase contemporánea documentada en el casco urbano de Ronda (fases IV-VI) se ha excavado un conjunto de viviendas de forma circular alineadas con otras de forma rectangular en cuyo interior y alrededores se han documentado varios fragmentos de ánforas y cerámica de barniz rojo fenicias que

¹³ Quiero agradecer a Dirce Marzoli, directora del Instituto Arqueológico Alemán (DAI) de Madrid y de la excavación en el yacimiento, y a José Suárez Padilla, co-director de la excavación, la posibilidad de utilizar la información analítica para esta Tesis.

permiten fechar estas estructuras dentro del siglo VIII a.C. La influencia fenicia no se aprecia solamente en los cambios observados en las técnicas constructivas empleadas y en el registro cerámico, sino también en la aparición de materiales férricos y de residuos vinculados con la producción de hierro (Carrilero *et al.* 2001: 97-98).

Una selección de los restos metalúrgicos de base cobre recogidos a lo largo de las intervenciones en *Acinipo* y en el casco urbano de Ronda han sido objeto de un estudio analítico por microscopía óptica y por ED-XRF. Este estudio, realizado por S. Rovira Llorens y P. Gómez Ramos, ha sido publicado en Gómez Ramos (1999) y en Aguayo (2001).

Con respecto a los materiales de *Acinipo*, sólo se ha estudiado una muestra que corresponde a un fragmento de vasija tipo fuente fabricado a mano que presenta una escoriación adherida y que apareció en una de las cabañas circulares pertenecientes a la fase IVB del yacimiento. Esta muestra (PA6533) destaca por su elevado contenido en plomo con algo de plata y fue interpretada como una vasija de reducción empleada para la obtención de plomo (el mineral empleado presentaría impurezas de plata), ya que no hay ninguna evidencia para suponer que se estuvieran llevando a cabo operaciones para la obtención de plata por copelación. La documentación de una metalurgia del plomo, así como la del hierro, constituye una novedad dentro de la tradición metalúrgica de la zona (Carrilero *et al.* 2001: 82-83).

El muestreo de los materiales procedentes del casco antiguo de Ronda (del solar de la C/ Armiñán esquina con el Callejón de los Tramosos) ha sido más abundante. Este solar está situado a una distancia breve (unos 100 m) de la zona en la que fue hallado el bien conocido molde para fundir espadas del tipo Ronda-Sa Idda (Del Amo 1983).

El nivel arqueológico en el que fueron recogidos los materiales analizados corresponde a un estrato con abundante carbón, asentado directamente sobre el sustrato geológico en el que aparecieron numerosos fragmentos de vasijas metalúrgicas, escorias y restos de fundición. La zona excavada no sobrepasaba los 2 m y, en consideración de la abundancia de los hallazgos metalúrgicos realizados, los excavadores la interpretaron como un vertedero de residuos relacionados con la producción de metales. La tipología del conjunto de cerámica asociada a estos materiales metalúrgicos sugiere una datación dentro del siglo VIII a.C. (Carrilero *et al.* 2001: 83-84).

De entre los materiales encontrados en esta escombrera, se han analizado dos restos de fundición, una escoria y algunos fragmentos de cerámica con escoriaciones,

y todos ellos documentan actividades metalúrgicas destinadas tanto a la obtención primaria y a la fundición de cobre como a la producción de bronce binarios y, en algunos casos, probablemente también a la de bronce plomados.

De todos modos, la abundancia de residuos metalúrgicos documentada en estos yacimientos no sorprende si se considera la riqueza y la variedad de los recursos mineros presentes en la Serranía de Ronda.

1.2.5 La provincia de Almería

La fundación fenicia de **Abdera** está situada en el Cerro de Montecristo, en la zona oriental de la actual ciudad de Adra, a unos 50 km de Almería. Este cerro, de unos 59 m de altitud snm, tiene forma triangular y se encuentra en la margen derecha del antiguo curso del río Grande (Adra), desviado a finales del Ochocientos. En la época de ocupación fenicia este río formaba un estuario y constituía un buen puerto natural (Suárez Márquez *et al.* 1989: 135); de hecho, el estudio de la antigua línea de costa ha permitido constatar su avance (de aproximadamente 700 m) por fenómenos de colmatación (Carpintero 2009: 130).

Las primeras intervenciones arqueológicas en esta zona fueron llevadas a cabo en los años setenta-ochenta y, después de un largo periodo de inactividad investigativa, las excavaciones fueron retomadas en el 2000 por la Universidad de Almería que realizó varias campañas sistemáticas que terminaron en 2007.

Estas investigaciones han permitido documentar la continuidad de la secuencia ocupacional de *Abdera* y fechar su fase más antigua de frecuentación en la mitad del siglo VII a. C. (López Castro *et al.* 2010a: 92-93).

La situación geográfica del yacimiento, en la Baja Alpujarra almeriense permitía un fácil acceso a los recursos mineros de la zona –principalmente a los depósitos de hierro y plomo de la cercana Sierra de Gádor, de la que dista unos 20 km– y una salida directa al mar aprovechando el curso del río Grande; en efecto, parece que esta riqueza minera fuera ampliamente explotada por los fenicios de la colonia abderitana, como indica la presencia de los abundantes restos metalúrgicos documentados en el yacimiento.

Una prueba indirecta de que estos recursos se estuvieran explotando ya en época fenicia arcaica, en particular en el siglo VIII a.C., nos la proporcionan los resultados de los análisis de los isótopos del plomo de algunos nódulos de galena y goterones de plomo procedentes de La Fonteta cuya signature isotópica coincide con la de los

minerales de la Sierra de Gádor o, en parte, también con Sierra Alhamilla (Renzi *et al.* 2009).

Esta evidencia parece sugerir que todavía falta por encontrar algún centro ya activo a principios del siglo VIII a.C., tanto en el interior, donde se dedicaría al aprovechamiento de los recursos mineros, como en la costa para la comercialización de los minerales y/o del metal obtenido. Y no sería de extrañar si en futuras intervenciones arqueológicas en *Abdera* salieran a la luz restos de una ocupación anterior a la que está actualmente documentada, quizás en otra zona de la actual ciudad de Adra, ya que su dedicación a actividades metalúrgicas es indudable por los abundantes hallazgos efectuados en el Cerro de Montecristo.

Estos restos relacionados con la producción de metales incluyen casi una veintena de fragmentos de minerales férricos y dos nódulos de galena, numerosas escorias principalmente de hierro, restos de una estructura de combustión, goterones de plomo, varios fragmentos de toberas –todas del tipo prismático de una o dos perforaciones– y un abundante conjunto de elementos metálicos de base cobre y de hierro.

El estudio analítico de estos materiales está todavía en curso pero un avance de la cantidad y variedad de estos hallazgos se presenta en Carpintero (2009: 131-132). En este trabajo no se especifica qué materiales pueden adscribirse a la fase fenicia y cuales a las dos fases posteriores, pero se menciona que se ha determinado un progresivo descenso de estas evidencias metalúrgicas desde la fase fenicia a las fases posteriores, en especial por lo que concierne a las escorias y a las toberas. Aparentemente no se ha documentado ningún resto que pueda ser relacionado con la metalurgia de base cobre, a excepción de los objetos acabados (Carpintero 2009: 132)

Otro yacimiento fenicio de la provincia almeriense relacionado con actividades para la producción de metales es **Villaricos**, la antigua **Baria** (Cuevas de Almanzora). Este centro está situado en una península dentro de una pequeña bahía y en su tiempo tuvo que dominar la desembocadura del río Almanzora; su localización favorecía unas ágiles relaciones con el interior por vía fluvial y, atravesando la Depresión de Vera, también por vía terrestre (López Castro *et al.* 2010b). Además, su cercanía a los distritos mineros de Sierra Almagrera y Las Herrerías le proporcionaba una posición estratégica para el aprovechamiento y el comercio de los abundantes depósitos minerales de la zona.

Las investigaciones arqueológicas en el yacimiento tienen una larga historia que se remonta a hace más de un siglo. Su secuencia cronológica también es muy larga, documentándose una ocupación continuada hasta la época Flavia, pero el periodo cronológico que nos concierne para este estudio es la fase definida como Villaricos I, que corresponde a la fundación y ocupación fenicia del asentamiento y que va desde aproximadamente el 600 a.C. hasta el siglo siguiente (López Castro 2007: 20). Sin embargo, aunque por el momento no se hayan podido documentar en este asentamiento restos adscribibles a una fase más antigua, la presencia de materiales fenicios del siglo VIII a.C. en yacimientos indígenas de la zona –como es el caso de la necrópolis de incineración de la Loma de Boliche en la zona minera de Las Herrerías, excavada por L. Siret a principios del siglo pasado (Siret 1908)– indica que su fundación podría ser anterior o que en la zona existía otro centro fenicio más arcaico que Villaricos.

En más de una ocasión se menciona la estrecha vinculación de este centro fenicio con la práctica de actividades minero-metalúrgicas (López Castro 2007; López Castro *et al.* 2010b), pero no se proporciona ningún dato específico sobre el tipo de evidencias documentadas y sobre los residuos vinculados con estas actividades que actualmente están en fase de estudio (Carpintero 2009: 135).

También se menciona la presencia de escorias en algunas de las tumbas excavadas en la necrópolis de Villaricos, fechadas en el siglo VI a.C. por la asociación con cerámica fenicia que puede enmarcarse en este horizonte cronológico (Astruc 1951: 20-21; López Castro *et al.* 1987-1988: 159).

Cerca de la colonia de Villaricos, a aproximadamente 4-5 km de distancia, hay otro asentamiento fenicio que también ha deparado evidencias de actividades metalúrgicas. Se trata de **Cabecico de Parra de Almizaraque** (Cuevas de Almanzora) que está situado sobre una pequeña elevación en la margen oriental del antiguo estuario del río Almanzora, a unos 300 m del yacimiento calcolítico de Almizaraque.

Las excavaciones de urgencia llevadas a cabo en el yacimiento a finales de los años ochenta permitieron documentar una secuencia cronológica prácticamente ininterrumpida que va desde la época fenicia, dentro del siglo VII a.C., hasta la época tardorromana y visigoda (López Castro *et al.* 1987-1988: 160-162).

La fase fenicia fue registrada sólo en la ladera sur del cabezo sobre el que se asienta el yacimiento y los niveles atribuidos a esta época, documentados principalmente en el Corte 4, proporcionaron algunos hallazgos de escorias

metalúrgicas. Aunque los excavadores no especifican qué tipo de metal se estaría produciendo en el Cabecico de Parra, la presencia de residuos metalúrgicos no sorprende ya que probablemente la fundación de este asentamiento fenicio estaba relacionada con la explotación de las cercanas minas de Las Herrerías, de las que dista apenas un kilómetro (López Castro *et al.* 1990: 9).

1.2.6 El Levante meridional

El yacimiento de la **Punta de los Gavilanes** (Puerto de Mazarrón, Murcia), en la zona sur-oriental de la Península, constituye un descubrimiento muy significativo que, junto con el yacimiento de La Fonteta en Alicante, ha permitido documentar la práctica de actividades minero-metalúrgicas relacionadas con la presencia fenicia también en el área levantina.

De hecho, los distritos mineros de Mazarrón, de Cartagena-La Unión y probablemente también de la Sierra de Orihuela tuvieron intensas actividades extractivas en época antigua, pero la explotación de estos recursos –en particular de la plata– ha sido generalmente puesta en relación con la ocupación romana del área mientras que una importante fase de aprovechamiento minero, aunque de menor envergadura, ya puede ser enmarcada también en el periodo de ocupación fenicia. Sin embargo, las investigaciones arqueológicas realizadas hasta ahora en esta zona todavía son insuficientes para determinar la entidad de las actividades minero-metalúrgicas llevadas a cabo en la época fenicia arcaica.

Volviendo al yacimiento de la Punta de los Gavilanes, éste se encuentra cerca del Puerto de Mazarrón, en la actual línea de playa, y corresponde a un pequeño promontorio de piedra caliza situado a poco más de 5 km del distrito minero de Mazarrón y próximo a la desembocadura de la Rambla de las Moreras cuyo cauce constituye el eje de comunicación entre la costa y la zona minera del interior.

El yacimiento tiene una superficie muy reducida con una secuencia ocupacional continua de por lo menos dos milenios, siendo los primeros indicios de frecuentación adscribibles al II milenio a.C. La ocupación fenicia, que corresponde al horizonte definido como Gavilanes III, sigue estando poco documentada ya que, por el momento, sólo ha proporcionado datos escasos aunque sí suficientes para poder enmarcarla dentro del siglo VII a.C. o incluso antes (Ros Sala en prensa).

Estas evidencias corresponden a algunos restos constructivos y materiales hallados en la terraza superior del asentamiento, y todo el registro material recogido hasta la

fecha apunta a que este centro tuvo un papel principalmente comercial aunque no faltan evidencias de actividades metalúrgicas dedicadas a la producción de plata por copelación (Ros Sala en prensa). De hecho, se han encontrado varios fragmentos de copelas y de litargirio que nos adelantan la producción de nivel casi industrial que caracteriza la fase posterior del yacimiento (siglos VI-IV a.C.) en la que, aparte de una cantidad abundante de los subproductos anteriormente mencionados, han aparecido también los restos de varias estructuras de combustión (Ros Sala 1995).

Una selección de los materiales pertenecientes a las fases fenicias del yacimiento está siendo estudiada en un proyecto hispano-alemán que nos involucra a nosotros (CCHS-CSIC, Madrid) y a las Universidades de Tübingen y Mannheim, cuyos resultados están todavía pendientes de ser publicados.

Indicativo de la importancia que tuvo esta zona en el siglo VII a.C. para la producción de la plata es el descubrimiento de un pecio fenicio, denominado “Barco fenicio 2”, hundido en las aguas de la **playa de La Isla** (Puerto de Mazarrón), cercana al yacimiento de la Punta de los Gavilanes. Este barco estaba cargado con más de 400 tortas de litargirio (más probablemente copelas), alcanzando un total de más de 1200 kg de peso (Negueruela *et al.* 2000: 1677); y al igual que los materiales de los Gavilanes, una selección de fragmentos de litargirio/copelas que componían el cargamento del pecio está siendo estudiado dentro del arriba mencionado proyecto hispano-alemán.

La importancia de este descubrimiento reside principalmente en que nos documenta la existencia de un comercio de subproductos de copelación con claros fines de ser reutilizados en procesos metalúrgicos; y en este sentido apunta también –como ya se había mencionado anteriormente– el hallazgo de una abundante cantidad de fragmentos de litargirio (que también en este caso podrían corresponder más bien a restos de copelas) almacenados en una habitación del yacimiento fenicio del Castillo de Doña Blanca en el gaditano Puerto de Santa María (Ruiz Mata 1993: 182). Y sin duda es tentador poner en relación las actividades para la producción de plata de la pequeña factoría fenicia de los Gavilanes con el origen de los residuos de copelación encontrados dentro del barco. Pero hasta que no tengamos los resultados completos de los análisis de los isótopos de plomo de ambos grupos de materiales –que actualmente se están realizando dentro del proyecto antes mencionado– esta hipótesis no pasa de ser sólo una conjetura. Sin embargo, ya se han publicado los resultados del análisis de la composición isotópica de dos fragmentos de copelas que formaban parte del cargamento

del pecio (Renzi *et al.* 2009: 2592) que, curiosamente, no parecen corresponder con los campos isotópicos definidos para Mazarrón o de Cartagena-La Unión, aunque sí se podrían relacionar con alguna otra zona del sureste que aún no está caracterizada isotópicamente. Esa zona minera seguramente tuvo que estar involucrada en una explotación bastante intensa en el siglo VII a.C., ya que también los resultados isotópicos obtenidos en algunos subproductos de copelación procedentes de La Fonteta coinciden con los del pecio, y constituyen una evidencia de la comercialización de estos materiales o, por lo menos, de los minerales originalmente aprovechados en estos procesos de copelación (Renzi *et al.* 2009).

Un ejemplo más del comercio marítimo de productos minero-metalúrgicos nos lo proporciona otro pecio contemporáneo al de la Playa de La Isla. Se trata del más antiguo de los tres barcos hundidos en el **Bajo de la Campana**, en Cabo de Palos (Cartagena, Murcia), fechado a finales del siglo VII a.C. (Mederos y Ruiz Cabrero 2004).

Al igual que el anteriormente citado, también este pecio ha sido interpretado como fenicio por los materiales que constituían su cargamento, entre los que hay que destacar la presencia de varios elementos metálicos semirrefinados y de nódulos de mineral: en concreto se han documentado centenares de nódulos de galena, dos lingotes de cobre y una treintena de lingotes de estaño de distinta forma y tamaño (Polzer y Pinedo Reyes 2011).

Por tanto, la entidad y la cantidad de los hallazgos efectuados en esta zona costera de la provincia de Murcia, junto con la amplia distribución que tienen los minerales locales y los subproductos de copelación, sugieren que en los siglos VII-VI a.C., y probablemente incluso antes, la red de yacimientos vinculados a la explotación minera y también a la producción de metal tuvo que ser más amplia de lo que actualmente indica la realidad arqueológica. Es posible que esta falta de datos, tanto sobre la producción metalúrgica como acerca de la ocupación territorial de la zona, sea debida en gran parte a un estado todavía preliminar de las investigaciones arqueológicas en el área murciana. De hecho, es interesante notar cómo la distribución de los hallazgos de cerámica fenicia en el territorio se concentra mayormente en la costa, concretamente en puntos que en las fases posteriores tendrán una estrecha vinculación con la explotación del distrito minero de Mazarrón (Ros Sala *en prensa*). Por ejemplo, las prospecciones superficiales llevadas a cabo en distintas zonas de la Rambla de las Moreras (Correa 1997) han permitido documentar la presencia de cerámica fenicia del siglo VII-VI a.C. entre la Playa de la

Isla/Isla de Adentro y Puntas de Calnegre; y también siguiendo la Rambla hacia el interior se han encontrado materiales de filiación fenicia en varios yacimientos que podrían estar relacionados con la explotación de distintos recursos mineros, como por ejemplo los de cobre y hierro que también se conocen en la zona.

Este es el caso por ejemplo del yacimiento de **Cabezo de la Fuente del Murtal** (Alhama de Murcia), situado al oeste de la presa de la Rambla de Algeciras, entre la Sierra de la Muela y el Pico del Castellar (Lomba y Cano 1996), y fechado en un horizonte que va desde finales del siglo VII hasta mediados del siglo VI a.C. Aquí se han encontrado tanto materiales cerámicos fenicios de importación como producciones locales que imitan formas fenicias, y se ha documentado la presencia de un fragmento de vasija de uso metalúrgico en la que se aprecian pequeñas adherencias de escorias aparentemente de base cobre (Lomba y Cano 1996: 196).

Cerca de la Fuente del Murtal, hay otro yacimiento que merece ser mencionado, el **Castellar de Librilla** (Librilla, Murcia) que se encuentra asentado sobre un cabezo de unos 300 m de altitud snm y que está limitado al oeste por la Rambla de Algeciras, tributaria del río Guadalentín. En las cercanías de este poblado hay afloramientos de cobre, hierro, galena y también de metales nobles, en particular los de la Sierra de Carrascos, Sierra Espuña, Sierra de la Tercia y los de Cabezo Gordo (Ros Sala 1993: 73; Arana y Pérez Sirvent 1993: 127).

Su secuencia cronológica va desde mediados del siglo VIII hasta el IV siglo a.C. A finales del siglo VIII, y perdurando durante casi todo el siglo VII a.C., en el yacimiento se observa un notable desarrollo urbanístico (con una organización de los espacios y una remodelación de las viviendas y del entramado urbano), económico y poblacional hasta que, a mediados del siglo VI a.C., hay una recesión generalizada que lleva al abandono de parte del hábitat. Y es en las fases de mayor desarrollo cuando se registran abundantes evidencias de actividades metalúrgicas, documentadas en el Sector I del yacimiento. Aquí se han excavado varias estructuras de combustión de las cuales el que fue definido “Horno N” es el más antiguo y está constituido por una cubeta de forma rectangular delimitada por piedras; está incompleto y parcialmente excavado pero se propone para éste, de acuerdo con los restos visibles al momento del hallazgo, un tamaño sorprendentemente grande, con más de 2 m de largo y 0,65 m de ancho (Ros Sala 1993: 85). En una de las paredes adyacente al horno se aprecian los restos de

adobes de la cubierta y dentro de la cubeta se recogieron abundantes escorias mezcladas con capas de ceniza.

Otra estructura de combustión, más tardía dentro del horizonte cronológico de los siglos VIII-VI a.C., es el denominado “Horno E” que está constituido por dos cubetas superpuestas y poco profundas, ambas delimitadas por piedras y de forma irregularmente circular. Los niveles excavados debajo y alrededor de este horno presentaban numerosos restos de escorias, varios fragmentos de vasijas de uso metalúrgico, algún fragmento de toberas y objetos metálicos (Ros Sala 1993: 93-94).

Se llevó a cabo un estudio analítico por difracción de rayos X y por microscopía óptica de una selección de los materiales encontrados en asociación con las estructuras de combustión N y E (Arana y Pérez Sirvent 1993). Los resultados obtenidos por el análisis de siete escorias han permitido determinar que se trata de subproductos de la metalurgia del hierro; además, en algunos casos estas muestras presentan contenidos apreciables de cobre, sugiriendo que se estén aprovechando minerales complejos de hierro. La mención de la presencia de fragmentos de vasijas metalúrgicas asociadas a la estructura de combustión E sugiere que se estuvieran llevando a cabo también operaciones para la producción de metales de base cobre aunque los autores no especifican nada al respecto.

Todo el registro material recogido en el yacimiento sugiere que éste tuvo una intensa vocación comercial y es significativo que la mayoría de las cerámicas encontradas corresponde a fragmentos a torno de origen fenicio. También el desarrollo de las actividades metalúrgicas puede ser enmarcado dentro de esta vinculación con la red comercial fenicia en la zona del valle de los ríos Guadalentín-Segura (Ros Sala 1993: 90-91).

Pasando a la provincia de Alicante, aparte del yacimiento fenicio de La Fonteta que se describirá detalladamente en el capítulo siguiente, hay que mencionar el poblado del Bronce Final de **La Peña Negra** (Crevillente). Este yacimiento, posiblemente correspondiente a la *Herna* mencionada en el periplo de Avieno (González Prats 1993a), está situado en plena Sierra de Crevillente, una zona en la que se señala la presencia de cobre y plata (González Prats 1992: 244).

Se trata de otro centro que estuvo relacionado con una activa producción de metales y que ha proporcionado también numerosos indicios de la presencia de un núcleo de gente fenicia en el yacimiento, aunque las evidencias de actividades

metalúrgicas allí llevadas a cabo se registran desde los inicios de su ocupación, un momento que no tiene una clara vinculación con los fenicios.

En concreto, en el Sector II del poblado se excavó una vivienda perteneciente a la fase Peña Negra I (900-750 a.C.) que ha deparado un conjunto significativo de restos metalúrgicos. En el interior de la vivienda se documentó una posible estructura de combustión constituida por un anillo de arcilla afectada por la acción del fuego, con un diámetro de aproximadamente 60 cm y una pequeña concavidad central de unos 20 cm. Sin embargo, no había ningún resto metalúrgico asociado, ya que la vivienda había sido dejada del todo limpia. Fue en el exterior de esta habitación donde se excavó una escombrera relacionada con las actividades allí llevadas a cabo, en la que se encontraron machacadores de minerales, más de un kilo de escorias, restos de fundición, tortas de metal, chatarra y más de cuatrocientos fragmentos de moldes de fundición (González Prats y Ruiz-Gálvez 1989; González Prats 1992: 245; González Prats 1993b: 24). La datación para esta vivienda-taller metalúrgico ha sido fijada a finales del horizonte Peña Negra I, es decir dentro de la primera mitad del siglo VIII a.C., una época ya “colonial” en la que la presencia fenicia en el territorio alicantino tuvo que estar establemente definida. De hecho, aunque no se hayan encontrado materiales de filiación fenicia en asociación con esta estructura, el desarrollo de las actividades para la producción de metales –que no se habían documentado durante los primeros momentos de ocupación del yacimiento– sugieren que, como en muchos otros centros contemporáneos ya examinados, existe una estrecha relación entre la instalación de asentamientos fenicios en la costa – en este caso el de La Fonteta– y la explotación de los recursos minero-metalúrgicos del interior. Además, la fase Peña Negra II corresponde a un poblado ya plenamente orientalizado que a finales del siglo VIII a.C. ve la instalación de un verdadero barrio artesanal fenicio dedicado a la producción de cerámica a torno que fue comercializada en todo el Valle del Vinalopó (González Prats 2002: 131).

De todo el conjunto de restos arqueometalúrgicos documentados, destacan por cantidad y calidad los fragmentos de moldes encontrados. En gran parte corresponden a moldes de arcilla pero también se han documentado unos pocos fragmentos de moldes líticos. Los ejemplares en arcilla, aunque no se hayan encontrados completos, muestran claramente qué tipo de piezas se estaban fabricando y corresponden principalmente a diversas armas, útiles y adornos, mientras los fragmentos de moldes de arenisca se emplearon para fabricar principalmente hachas de apéndices laterales (González Prats y Ruiz-Gálvez 1989). Además, en el registro metálico de Peña Negra, sobre todo en la

fase orientalizante (Peña Negra II), se encontraron numerosos lingotes-hacha (González Prats 1985), unos materiales que se han documentado también en La Fonteta (González Prats *et al.* 2002; Renzi 2010).

Algunas de las adherencias metálicas de los moldes y algunos de los lingotes-hacha de Peña Negra fueron objeto de análisis composicionales llevadas a cabo mediante ED-XRF y cuyos resultados completos se han publicado en González Prats (1993b), Simón (1998) y Renzi (2010), entre otros.

1.2.7 El Levante centro-septentrional y las Islas Baleares

La provincia de Castellón está todavía poco investigada desde el punto de vista arqueológico, sobre todo por lo que concierne a la presencia o a la influencia fenicia en la zona y a la existencia de centros dedicados a la producción de metales. Sin embargo, en la última década se han llevado a cabo algunas excavaciones que están proporcionando datos interesantes acerca de la ocupación territorial en la región y del tipo de dedicación económica de los centros allí asentados.

Destacan las investigaciones realizadas en el yacimiento del **Tossal del Mortorum** (Cabanès), un pequeño asentamiento que se sitúa sobre un escarpado cerro en la Ribera de Cabanès, a 5 km de la costa y próximo a zonas con recursos mineros. De hecho, en la vertiente occidental del Tossal hay filones de mineral de hierro y a menos de 1 km en dirección oeste se conocen explotaciones de galena, y resulta significativo destacar que en las inmediaciones del poblado se encontró un mazo o martillo de minero que podría estar documentando un aprovechamiento de los recursos locales en la Antigüedad (Aguilella *et al.* 2004-2005).

La secuencia cronológica del yacimiento abarca desde la segunda mitad del siglo VII hasta la mitad del siglo VI a.C. Y tanto las características de su urbanismo como su registro material, con un porcentaje muy elevado de cerámica fenicia, parecen sugerir que su núcleo poblacional presentaba un alto nivel de orientalización.

Para este asentamiento se ha propuesto una vocación principalmente minera, dedicada a la explotación de las cercanas minas de hierro y de galena. De hecho, en el yacimiento se han identificado fragmentos de molinos líticos y manos de molino que podrían haber sido empleados en el triturado de mineral. Sin embargo, también es interesante mencionar el elevado número registrado de elementos metálicos tanto de base cobre como de plomo y de hierro (Aguilella *et al.* 2004-2005: 132). Entre estos materiales destaca la presencia de un fragmento de lingote de cobre-plomo (Montero *et*

al. 2010-2011: 104) y de algunos restos de fundición de cobre y bronce que apuntan a la realización en el yacimiento también de actividades para la producción de objetos metálicos de base cobre. Asimismo, se han documentado algunas estructuras de combustión pero su función metalúrgica no está clara debido a la falta de materiales asociados.

Los autores sugieren que los minerales extraídos en las minas cercanas al Tossal serían embarcados –como mineral en bruto o como producto semitransformado– en el cercano yacimiento de **Torre de la Sal** en el que también se han encontrado materiales fenicios adscribibles a los siglos VII-VI a.C., restos de galena y una escoria de hierro (Aguilella *et al.* 2004-2005: 139-140). Pero esta hipótesis no se ha podido contrastar ya que los datos de los análisis de los isótopos del plomo de un fragmento de galena y de algunos goterones de plomo del Mortorum no coinciden con la signature definida para la mina de plomo de Campello, situada en las inmediaciones del poblado.

El estudio de estos materiales se ha realizado dentro del proyecto (HUM2007-65725-C03-02) “Tecnología y procedencia: plomo y plata en el I milenio AC” y los resultados obtenidos serán objeto de una monografía que actualmente está en fase de publicación.

Una situación similar tuvo que ser la de los asentamientos situados al sur de la desembocadura del Ebro, como por ejemplo el yacimiento de **Sant Jaume-Mas d'en Serrà** (Alcanar, Montsià, Tarragona), cuyo desarrollo también podría haber estado vinculado a la explotación de los recursos mineros locales y a las relaciones comerciales con los fenicios (Garcia i Rubert y Gracia Alonso 2011).

Este poblado amurallado está situado en un cerro de pequeña altitud (unos 224 m snm), entre la desembocadura del río Ebro al sur y la desembocadura del río Sénia al norte, en una de las últimas estribaciones sur-orientales de la sierra del Montsià.

La secuencia cronológica documentada en Sant Jaume indica una vida breve, que va desde gran parte de la segunda mitad del siglo VII hasta el primer tercio del siglo VI a.C. cuando se abandona aparentemente a causa de un incendio, una situación que ha permitido recoger un registro material muy amplio y significativo.

Entre los materiales cerámicos, aunque la mayoría corresponda a piezas indígenas fabricadas a mano, también se ha documentado la presencia de cerámicas a torno fenicias. En asociación con este conjunto cerámico, se ha recogido una abundante

cantidad de materiales arqueometalúrgicos que incluye escorias, fragmentos de moldes, restos de fundición, fragmentos de lingote y una gran variedad de objetos acabados, sugiriendo la existencia en el yacimiento de un taller metalúrgico dedicado a la producción tanto de metales de base cobre como de plomo y hierro (Garcia i Rubert *et al.* 2007).

La composición de una serie de 40 muestras seleccionadas entre los materiales no-férricos de Sant Jaume ha sido objeto de un estudio analítico mediante ED-XRF. Este estudio ha permitido determinar que se estaban produciendo cobres, bronce binarios y ternarios, además de plomo y aleaciones de cobre y plomo, un tipo de aleación insólito en la zona pero que ha sido documentado en varios yacimientos fenicios (Garcia i Rubert *et al.* 2007: 147-150).

En otro yacimiento de la provincia de Tarragona también se ha documentado la presencia de materiales fenicios de importación y algunas evidencias de producción de metales, especialmente de plomo (Armada *et al.* 2005, Rafel *et al.* 2008). Se trata del poblado de la Edad del Hierro de **El Calvari del Molar** (Priorat, Tarragona), situado en la cima de un pequeño cerro de unos 230 m snm, a escasa distancia de dos cursos fluviales –a unos 3 km del río Siurana y a unos 5 km al norte de la desembocadura del Ebro– y a menos de un kilómetro de la zona minera del Molar-Bellmunt-Falset en la que abundan los recursos de galena.

En el yacimiento se han hallado numerosos materiales que apuntan a la realización de actividades de extracción de mineral y producción de metales, y que estaban repartidos en distintas zonas del poblado. Entre estos restos destaca un fragmento de una tobera prismática de perforación individual, parte de un molino de vaivén en piedra arenisca en el que se han detectado residuos de plomo, azufre y plata –y que por tanto parece haberse empleado para triturar galena (Armada *et al.* 2005)– goterones de plomo, algunos nódulos de galena y escorias de plomo.

El estudio analítico de algunas de las escorias de plomo fue publicado en Gener *et al.* (2007: 156). Asimismo, se ha analizado la composición isotópica de una selección de materiales (escoria de plomo, galena, plomo metálico y objetos de bronce). Todos los elementos relacionados con el plomo confirman el aprovechamiento local de las minas, sin embargo los objetos de base cobre muestran un origen externo, principalmente en

Linares y en menor medida del Sureste, lo que muestra elementos novedosos sobre el comercio de metales en este periodo (Rafel *et al.* 2008: 261).¹⁴

El mapa de distribución de los materiales fenicios en el Levante peninsular se hace más exiguo hacia la zona septentrional y está caracterizado esencialmente por la presencia de fragmentos de ánforas vinarias. Sin embargo, también hay alguna asociación de materiales de importación con evidencias de actividades metalúrgicas, como por ejemplo en la necrópolis de **Can Bec de Baix** (Agullana, Girona), en el Alt Empordà (Palol 1958; Graells y Sardà 2007: 77-78). Aquí, en una de las tumbas (Tumba 184), fechada a principios del siglo VI a.C., se señala la presencia de algunas escorias de hierro (Graells 2008) junto con cuatro urnas tipo Cruz del Negro fabricadas a mano y con un amplio conjunto de vajilla claramente relacionado con la práctica del banquete, asociando así en su ajuar elementos de carácter exótico junto a otros elementos de tradición local (Graells y Sardà 2007: 78).

Pasando a las Islas Baleares, el yacimiento fenicio de **sa Mola de sa Caleta** o simplemente **sa Caleta** (Sant Josep de sa Talaia, Ibiza) ha proporcionado una importante acumulación de materiales arqueometalúrgicos. Este poblado está situado a unos 10 km de Ibiza ciudad, sobre una pequeña península de aproximadamente 15 m de altitud, en la parte noroeste de la amplia bahía que dibuja el Cap des Falcó junto con la punta de ses Portes, constituyendo el extremo sur de la isla. Actualmente se encuentra unida a la tierra firme por las formaciones sedimentarias debidas a la cercanía de un arroyo que desemboca frente a la zona del yacimiento (Ramón Torres 2007: 21-22).

Las excavaciones arqueológicas en sa Caleta empezaron en 1986 y continuaron con algún intervalo hasta finales de los años noventa. Estas intervenciones han permitido definir enteramente la secuencia de ocupación del yacimiento que tuvo una vida breve, abarcando desde finales del siglo VIII-inicios del VII a.C. hasta su abandono aparentemente no violento a finales del siglo VII principios del VI a.C. (Ramón Torres 2007: 145).

Los residuos de las actividades metalúrgicas llevas a cabo en el yacimiento son muy abundantes y se han encontrado tanto dentro de las estructuras habitacionales como

¹⁴ Un trabajo más detallado y completo sobre los metales de base cobre de El Calvari ha sido presentado en el III Congreso Internacional “Archaeometallurgy in Europe” (Bochum, Alemania, 29 junio-1 julio 2011): X.-L. Armada, R. Graells, M. Hunt, I. Montero-Ruiz, M. Murillo-Barroso, N. Rafel, M. Renzi, M.C. Rovira Hortalà: “Copper-based metals from El Calvari (Tarragona, Spain): local ores, imported ingots or object trade?”.

en su exterior, estando presentes en toda la secuencia de ocupación incluyendo el nivel de abandono. Aparte de numerosos elementos metálicos de base cobre, se han documentado varios molinos de vaivén en piedra arenisca pero destacan por cantidad los nódulos de minerales. En particular, abundan los fragmentos de galena y parece que algunas de las estructuras excavadas fueran destinadas al almacenamiento de este mineral (Ramón Torres 1991: 181-182). Tanto la cantidad de galena encontrada como su distribución espacial en el yacimiento sugieren que la comercialización de este mineral, y probablemente también de los productos relacionados, constituyeran el eje de la economía del poblado.

La posible explotación de los recursos minerales en la zona noroccidental de la isla, en las minas de s'Argentera se ha concretado recientemente a partir de los estudios de isótopos de plomo. Aunque un estudio pionero fue realizado por Ruiz de Smedt (1992), recientemente se han estudiado otras muestras –tanto geológicas como arqueológicas (galenas, copelas y plomo metálico)– que confirman el carácter argentífero de las galenas de s'Argentera y su aprovechamiento en época fenicia (Ramón Torres *et al.* 2011), así como la llegada de galena del área de Cartagena. También se han iniciado las investigaciones arqueológicas en las propias minas para identificar los antiguos trabajos de explotación (Hermanns *et al.* 2011: 132).

Algunos restos de mineral de hierro, numerosas escorias férricas y microrresiduos (laminillas y glóbulos) de la forja del hierro han sido detectados entre los restos de tierra adheridos a los materiales escoriáceos (Rovira Hortalà 2007: 349-350). Todos estos restos apuntan a que en el yacimiento no se estaba produciendo sólo plomo y plata sino también hierro. En este sentido apunta además la presencia en una de las estancias del yacimiento de una estructura de combustión –de tipo simple y de pequeño tamaño, obtenida excavando la cubeta directamente en el suelo calizo– que estaba asociada a numerosas escorias de hierro y fragmentos de toberas prismáticas de doble perforación (Ramón Torres 1991: 182; Ramón Torres 2007).

1.2.8 El área portuguesa

Al igual que en algunas de las provincias españolas examinadas, también la investigación arqueológica sobre la ocupación territorial y espacial fenicia en Portugal está en una fase preliminar, y actualmente el número de datos publicados es escaso.

Un importante trabajo de recopilación sobre este tema se remonta a hace más de un decenio y fue llevado a cabo por A.M. Arruda (2000); pero, desde entonces, el

número de hallazgos ha crecido sensiblemente y se han documentado nuevos importantes establecimientos de posible origen fenicio o que estuvieron estrechamente vinculados con los colonos, aunque todavía parece que no haya unanimidad en el mundo académico para clasificar determinados yacimientos como propiamente fenicios o considerarlos como centros indígenas altamente orientalizados (Arruda 2000; Pellicer 2000; Torres 2002).

En el estado actual de la investigación, también la relación entre los colonos y la producción de metales –tanto en los asentamientos propiamente fenicios como en los centros orientalizantes portugueses contemporáneos– cuenta con pocos datos. Sin embargo, la localización en puntos estratégicos de algunos de estos yacimientos y sobre todo la presencia de restos arqueometalúrgicos parecen sugerir que la envergadura de las operaciones minero-metalúrgicas en esta zona tuvo que ser más significativa de lo que permite apreciar la realidad arqueológica actual.

Esta situación no sorprende si se considera la riqueza metalífera de los distritos del Bajo Alentejo, de las Beiras o de la Serra do Algarve, unas regiones mineras en los que abundan recursos metalíferos muy variados, en particular plata, oro, estaño y cobre. Además, también muchas fuentes literarias de época clásica mencionan a menudo la riqueza en metales de esta zona y, como para la zona tartésica, relacionan la presencia fenicia con un interés directo en la explotación de estos recursos, en particular los de estaño y oro (Pellicer 2000: 93-97).

Empezando por el Algarve, los datos actualmente disponibles sobre evidencias metalúrgicas en esta zona son escasos y se limitan a sólo a dos yacimientos, Tavira y Castro Marim.

El yacimiento fenicio de **Tavira** (Alto de Santa María, distrito de Faro) está situado en la colina de Santa María (de unos 20 m snm), en la margen derecha del río Gilão a la altura de su estuario donde, formando un delta, desemboca en la laguna de Ria Formosa. En época fenicia esta colina constituía una especie de península en el punto de contacto entre el mar y el río, cuyo curso era navegable por lo menos hasta la Serra do Algarve. Aquí, de acuerdo con el testimonio del estudioso portugués del siglo XIX Estácio da Veiga (1891), tuvieron que existir varias minas antiguas de plata; y también en el cercano distrito minero del Baixo Alentejo se conocen depósitos ya explotados en la Antigüedad (Pereira Maia 2000).

La elevación sobre la que se asienta Tavira estaba protegida en su lado oriental por el Alto de S. Brás, mientras que su lado occidental estaba defendido por una imponente muralla fechada en la mitad del siglo VIII a.C. (Pereira Maia 2000: 121-122).

Adosada al interior de la muralla fenicia se excavó una estructura de combustión de base circular y construida parcialmente con piedras, que ha sido interpretada como los restos de un horno metalúrgico. Al lado de esta estructura se identificó una amplia mancha de material calcáreo que ha sido relacionada con la producción de copelas para la extracción de plata, una hipótesis que los excavadores ven confirmada por el hallazgo en asociación con esta mancha de dos pequeños “coladores” (Pereira Maia 2000: 126). Estas piezas, de factura tosca, presentan una serie de perforaciones que sólo en algunos casos llegan a perforar del todo las paredes y, como ya se ha mencionado anteriormente, tienen paralelos en varios de los yacimientos fenicios e indígenas contemporáneos aunque su función metalúrgica, es decir como recipiente para preparar y hacer “sudar” las copelas, es bastante discutida (véase, por ejemplo, Hunt 2003: 366-368).

Otras zonas del yacimiento también han deparado elementos que sugieren la práctica de actividades para la producción de metales en la Tavira fenicia. En los niveles del siglo VII a.C. se encontró un amplio conjunto de estructuras de combustión asociadas a estratos ricos en cenizas y carbones, en los que se recogieron un fragmento de tobera de sección cilíndrica, varios restos de fundición de cobre y una pequeña barrita de plata.

Las investigaciones arqueológicas en este yacimiento siguen en curso y los resultados obtenidos hasta ahora sólo han sido publicados parcialmente, por tanto es posible que en el futuro se consigan más datos para poder avanzar hipótesis sobre la importancia y la entidad de las actividades metalúrgicas para la economía del centro.

De acuerdo con su posición estratégica, es probable que Tavira constituyera un centro metalúrgico destinado a la obtención de plata y posiblemente también a la metalurgia de base cobre en el que se aprovechaban los recursos mineros de la Sierra Algarvia y/o del Baixo Alentejo. Además tuvo que ser una importante terminal costera para la comercialización de estos metales y, por sus facilidades de navegación por vía fluvial, también pudo tener un papel activo en la redistribución de los bienes “exóticos” en el *hinterland*. Y en este sentido parecen apuntar los numerosos hallazgos de materiales fenicios y bienes de prestigio en las necrópolis y en los poblados orientalizantes de la zona que, en algunos casos, muestran influencias semitas también en el urbanismo y en su arquitectura, y que están escalonados a lo largo de los cursos

fluviales y en proximidad de las principales zonas mineras (Pereira Maia 2000: 121-128).

Otro yacimiento cercano –aunque haya proporcionado sólo evidencias muy escasas de una posible relación con la metalurgia– podría haber tenido una función análoga a la de Tavira, ya que ambos tenían una localización particularmente estratégica para el aprovechamiento y la comercialización de los recursos mineros del interior. Se trata del yacimiento de **Castro Marim** (Distrito de Faro), situado a unos 20 km al este de Tavira, en la margen derecha del río Guadiana y próximo a su desembocadura.

Durante la Edad del Hierro el poblado estaba situado en el lugar donde en época medieval se construyó el Castillo, una colina de unos 40 m snm conocida como Cerro do Castelo. Actualmente esta zona está en tierra firme pero, debido a la progresiva acción erosiva del río que fue produciendo notables cambios geomorfológicos, en época fenicia el paisaje tuvo que ser muy distinto y el cerro pudo estar rodeado por las aguas fluviales del Guadiana.

Este yacimiento gozaba de una vista óptima del territorio circundante y disponía de buenas condiciones naturales de defensa, abarcando visualmente una zona bastante amplia que incluía la entrada del Guadiana y parte de la costa (Arruda 2000: 36-37).

Los años ochenta corresponden al periodo de mayor actividad arqueológica en el yacimiento y estas intervenciones han permitido registrar una ocupación prácticamente ininterrumpida que va desde probablemente la Edad del Bronce hasta la época moderna; sin embargo, los niveles correspondientes a las fases más antiguas de ocupación del yacimiento están poco documentados, ya que fueron excavados sólo en zonas de reducida extensión.

El poblado estaba defendido por una muralla y los edificios documentados presentaban planta rectangular pero, a pesar de que en todos los estratos aparecieron cantidades significativas de cerámica fenicia a torno, la pre-existencia de un yacimiento de la Edad del Bronce y la presencia de formas cerámicas típicamente indígenas han llevado a los excavadores a dudar de la naturaleza de Castro Marim como fundación colonial fenicia, interpretándolo como un centro de cultura local fuertemente orientalizado (Arruda 2000: 52). Pero la cuestión sigue abierta ya que recientemente en el yacimiento se ha encontrado un espacio de claro carácter cultual, probablemente un santuario, fechado en el siglo VII a.C. y con características similares a las de otros

complejos religiosos contemporáneos, como El Carambolo, Carmona o Cástulo (Arruda *et al.* 2009).

Como ya se ha mencionado al principio, a pesar de que la posición estratégica de este centro –situado prácticamente en la desembocadura de un importante río y bien comunicado con la zona minera del Baixo Alentejo– sugiera que podría haber jugado un papel fundamental en el abastecimiento de recursos mineros y en la comercialización y/o redistribución de materiales foráneos hacia el interior, hasta la fecha en Castro Marim apenas se han encontrado restos de actividades metalúrgicas, aunque es necesario subrayar que la zona excavada es muy reducida y los estratos antiguos están mal documentados. De hecho en la fase del siglo VII a.C., aparte de varios artefactos metálicos, sólo se han podido recoger dos pequeños fragmentos de mineral de hierro, uno en “áreas de combustión” y otro cerca de la muralla (Moura Viana Mateus Pereira 2008: 43). Y es sólo a partir del siglo VI a.C. cuando se documenta una cantidad mayor de restos arqueometalúrgicos, correspondientes a alguna escoria de hierro, fragmentos de mineral férrico, algún resto de fundición de base cobre y goterones de plomo (Moura Viana Mateus Pereira 2008: 56-57).

Para encontrar otro yacimiento de época fenicia con alguna evidencia de actividades metalúrgicas hay que llegar al estuario del río Sado. Aquí el estado actual de la investigación arqueológica es similar al del Algarve, es decir se conocen algunos centros (Alcácer do Sal, Setúbal y Abul) que gozan de una posición geográfica bastante ventajosa para el aprovechamiento y la comercialización de los recursos metalíferos de la zona, pero sólo uno de ellos ha proporcionado alguna escasa evidencia de producción de metales.

Han sido solamente las excavaciones en el área del castillo medieval de **Alcácer do Sal** (Distrito de Setúbal) las que han proporcionado algún dato relacionado con el objetivo de nuestro estudio. Aunque se están llevando a cabo investigaciones arqueológicas en el yacimiento desde los años setenta, los resultados apenas han sido publicados y por tanto la información disponible es muy escasa, sobre todo acerca de la ocupación de época fenicia cuyos datos se limitan a los restos recogidos en un solo corte de dimensiones reducidas que fue efectuado en 1979 (Arruda 2000: 64-65).

La secuencia cronológica del yacimiento –que presenta rasgos de clara influencia fenicia– tampoco está bien definida ya que algunos investigadores sitúan los primeros momentos de ocupación en el siglo VIII a.C. (Correia 1993: 251), y en cambio otros

consideran que los materiales publicados no justifican una datación anterior al siglo VII a.C. (Arruda 2000: 70). Y hay que destacar que dentro del registro material asignado a esta fase más antigua se menciona la presencia de fragmentos de vasijas metalúrgicas con restos de metal adherido (Tavares da Silva *et al.* 1980-1981: 160).

El hallazgo de estos restos metalúrgicos, aunque por el momento sean escasos, es significativo porque nos confirma que la ocupación de Alcácer do Sal tuvo cierta relación con la explotación de los recursos mineros de la zona, posiblemente controlando también la salida del mineral o del metal obtenido hacia el litoral.

El curso del río Sado habría permitido un acceso fácil y directo a las minas del Cinturón Piritico alentejano, concretamente a la región de Ourique en la que se ha documentado la presencia de numerosos hábitats y necrópolis con materiales orientalizantes (Arruda 2000: 97-98); además, la situación geográfica del asentamiento –situado al fondo del estuario del río– habría favorecido también su papel como punto intermedio en la gestión del comercio entre el interior y la costa, convirtiéndose en uno de los centros más importantes de la zona (Arruda 2000: 100; Torres 2002: 59).

El estuario del río Tajo ha sido más pródigo en hallazgos de restos metalúrgicos que las otras zonas examinadas pero la cantidad de los materiales encontrados sigue siendo poco representativa.

El yacimiento de **Quinta do Almaraz** (Cacilhas) es el más importante de la zona y ha proporcionado una secuencia cronológica completa que va desde finales del siglo VIII hasta el siglo VI a.C. (Barros 1989; Barros *et al.* 1993), aunque la mayoría de los resultados obtenidos sigue pendiente de publicación (Torres 2002: 60).

Está situado en la margen izquierda del estuario del Tajo, en el Distrito de Setúbal (Comarca de Almada), sobre un espolón rocoso con una altitud de aproximadamente 50 m snm que le permitía dominar visualmente gran parte del estuario y de la desembocadura del Tajo. El poblado ocupaba la plataforma oriental de esta colina, en la que se sitúa también el Castillo de Almada (Arruda 2000: 101-102).

Las excavaciones en el yacimiento empezaron a finales de los años ochenta y han permitido documentar la existencia de una muralla y varias estructuras de habitación. El material recogido es muy abundante y destaca el predominio absoluto de la cerámica a torno de filiación fenicia sobre la cerámica a mano que corresponde sólo a menos del 4% del total. Entre estos hallazgos también hay que destacar la presencia de varios objetos metálicos de base cobre y de hierro, pero sobre todo de fragmentos de vasijas

metalúrgicas y de escorias que documentan la existencia en el yacimiento de una producción de metales tanto ferrosos como no-ferrosos (Arruda 2000: 103 y 109).

Araújo *et al.* (2004; 2005) efectuaron un estudio analítico de una selección de artefactos metálicos y de dos fragmentos de vasijas de uso metalúrgico mediante ED-XRF. El conjunto de objetos de base cobre corresponde en todos los casos a bronce binarios y ternarios con distintos contenidos de plomo. Por lo que concierne a los fragmentos de vasijas, se ha detectado un elevado contenido de plata, y en uno de los casos también de oro, indicando que estos recipientes fueron empleados en operaciones para la producción de metales nobles, sin poder añadir más información ya que los datos actualmente disponibles no permiten precisar a qué tipo de operación estarían vinculados.

En resumen, todo el conjunto de hallazgos realizados en el yacimiento sugiere que este centro tuvo una extraordinaria importancia en las relaciones comerciales de los fenicios de Occidente, y que la metalurgia constituyó sin duda una parte importante de sus actividades económicas, sobre todo en consideración de la riqueza de recursos metalíferos de la zona, entre los que hay que destacar –de acuerdo con el testimonio transmitido por numerosas fuentes literarias de época clásica, como Hecateo, Avieno, Estrabón o Plinio (Pellicer 2000: 95-96)– la presencia de depósitos de oro aluvional en el río Tajo y la posibilidad que su curso fluvial ofrecía para acceder a los recursos de estaño de las Beiras.

Pasando a la margen derecha del río Tajo, también la **Sé de Lisboa**, situado en la parte sur del promontorio de la Alfama, ha proporcionado datos interesantes sobre la ocupación de la Edad del Hierro que hasta el momento parece limitarse a la colina sobre la que surge a día de hoy el Castillo de S. Jorge, tanto en la zona más elevada como en la plataforma de la Catedral y en su ladera. Esta elevación estaba rodeada en sus lados meridional y occidental por el río, formando una península sobre el estuario del Tajo y teniendo además una amplia visibilidad y facilidad de defensa.

En los años noventa se llevaron a cabo excavaciones arqueológicas en tres zonas distintas de la colina –concretamente en el Claustro de la Catedral, en el Castillo de S. Jorge y en la calle de los Correeiros– que proporcionaron resultados interesantes acerca de su ocupación durante la primera Edad del Hierro (Arruda 2000: 113-114). En particular, fueron los trabajos realizados en el Claustro de la Catedral los que

permitieron exhumar los niveles arqueológicos correspondientes a la Edad del Hierro-periodo orientalizante.

Los materiales recogidos proceden casi en su totalidad de un estrecho sondeo que, por razones de seguridad, no alcanzó la roca madre y corresponden por la gran mayoría a fragmentos cerámicos que confirman el carácter orientalizante de la Sé de Lisboa protohistórica y que algunos autores consideran como un establecimiento fenicio (Pellicer 2000: 106). En estos estratos se recogieron también algunos restos de actividades metalúrgicas, como escorias de hierro y algún resto de fundición de base cobre (Amaro 1993: 185; Arruda 2000: 114). Sin embargo, el carácter urbano de la intervención arqueológica y la reducida extensión del sondeo realizado, junto con la exigüidad de los restos metalúrgicos encontrados, no permiten avanzar hipótesis sobre la importancia que tuvo la metalurgia en la economía local, pero no sería de extrañar si futuras investigaciones proporcionaran nuevos datos al respecto.

Otro yacimiento que ha deparado algún resto vinculado a operaciones de producción de metal es **Santarém**, dentro de la región administrativa de Lisboa y de la Vale do Tejo. Esta ciudad –que ha sido identificada con la *Scallabis* romana citada en varios textos clásicos (Plinio, Ptolomeo, etc.)– está situada en la margen derecha del estuario del río Tajo, a unos 80 km de su desembocadura, y tuvo que constituir un importante puerto fluvial con acceso directo hacia el interior y facilidades para llegar hasta la costa.

El yacimiento arqueológico se encuentra en la zona de Santa María da Alcáçova (actualmente una *freguesia* urbana de Santarém), sobre una meseta de más de 100 m snm de altitud, con laderas muy abruptas, que permitía dominar visualmente el curso del río y amplias zonas de su valle, teniendo también óptimas posibilidades defensivas. Las dataciones radiocarbónicas obtenidas con el análisis de varias muestras recogidas en distintas zonas del yacimiento indican que los primeros contactos con el mundo fenicio tuvieron lugar en momentos muy tempranos, posiblemente ya durante el siglo IX a.C. (Arruda 2000: 137-138 y 218).

El registro material de la Edad del Hierro recogido en Santarém está casi enteramente constituido por cerámica, tanto por recipientes hechos a mano como por cerámica fabricada a torno, destacando, aparte de los numerosos fragmentos de filiación fenicia, las cerámicas áticas y las producciones de Kouass. La presencia de estos materiales foráneos nos confirma la importancia que tuvo que tener este centro en la red

comercial de la época, ya sugerida por su estratégica posición geográfica que habría permitido controlar y gestionar la salida del estaño de las Beiras hacia la costa.

Dentro del conjunto de materiales cerámicos recogido, se menciona la existencia de unos recipientes vinculados a operaciones para la producción de metales. Como en Tavira se trata de fragmentos de “coladores”, unos recipientes hechos a mano, de tamaño mediano y con superficies perforadas que han sido puestos en relación con la elaboración de copelas para su uso en la obtención de plata. En Santarém estos coladores se encontraron asociados a dos fragmentos de toberas del tipo prismático de doble perforación y a dos estructuras circulares de 1 m de diámetro. Estas estructuras, cuyo perímetro estaba delimitado por pequeñas piedras y estaban colocadas adyacentes a dos muros que enmarcaban el espacio en el que se encontraron las toberas y los “coladores”, han sido interpretadas como restos de dos posibles hornos metalúrgicos para la producción de la plata (Arruda 2000: 215-216).

Aparte de los materiales cerámicos, se ha documentado únicamente la presencia de objetos de pasta vítrea, concretamente elementos de adorno, ya que no se encontró ningún artefacto metálico, lítico o de hueso. Sólo se recogieron unos fragmentos metálicos amorfos de base cobre que podrían corresponder a restos de fundición o a fragmentos de algún objeto acabado cuya corrosión superficial ya no permite reconocer su forma original (Arruda 2000: 172-173).

El origen de este yacimiento no está del todo claro, siendo considerado indígena por algunos (Arruda 2000) y fenicio por otros (Pellicer 2000).

Para completar el cuadro de los datos actualmente disponibles sobre la metalurgia en Portugal durante la época fenicia, hay que mencionar un importante yacimiento situado en el estuario del río Montego, **Santa Olaia** (Figueira da Foz), que quizás constituya a día de hoy el que ha proporcionado el mayor número de evidencias de actividades metalúrgicas en territorio portugués aunque, paradójicamente, según la Carta de Minas se trata de una zona en cuyas cercanías no se conoce la presencia de recursos metalíferos.

El yacimiento de Santa Olaia, que constituye el asentamiento fenicio más septentrional, se sitúa en la *freguesia* de Santana (Figueira da Foz, Distrito de Coimbra) sobre una colina de baja altitud, de unos 20 m snm, con tres frentes rodeados por terrenos aluvionales. Se encuentra en la margen derecha del antiguo estuario del

Mondego, río del cual dista actualmente alrededor de 1 km, pero en la Antigüedad tuvo que constituir una pequeña isla (Arruda 2000: 227-229).

Las excavaciones en el yacimiento empezaron en los inicios de siglo XX y ya entonces se pudo recoger una gran cantidad de restos cerámicos y metálicos, unos materiales que ponían claramente en evidencia la conexión con la cultura fenicia y orientalizante. Durante estas intervenciones de principios del siglo pasado se encontraron escorias y dos fragmentos de toberas que el excavador interpretó como restos vinculados con operaciones de forja (Rocha 1908: 324, lám. XVIII, nn^{os} 18-19).

En algunas de las habitaciones excavadas, se identificaron varias estructuras de combustión adosadas a los muros o colocadas en las esquinas de las viviendas. La arcilla que constituía la planta de estos “hornos” estaba calcinada por la acción del fuego, y en sus alrededores y en el interior se encontraron varios fragmentos cerámicos que, como en el caso de Tavira, podrían haber pertenecido a grandes vasijas utilizadas como cúpulas de cobertura (Pereira 1993: 292-293). De todos modos, no se especifica cuál podía ser su función, pudiendo haber constituido simples hogares de uso doméstico.

A principio de los años noventa se realizaron algunas intervenciones de urgencia en el yacimiento que permitieron identificar una amplia zona dedicada enteramente a la producción de metales, cuya superficie total ronda los 500 m² (Pereira 1997: 61-63). Con el fin de evitar la humedad de la laguna, el suelo de esta zona industrial fue impermeabilizado utilizando grandes cantidades de piedra que constituyen el pavimento sobre el que se construyeron varias estructuras pirometalúrgicas de distinta tipología. La mayoría de estos hornos metalúrgicos corresponden a estructuras de forma semicircular, excavadas en el suelo y construidas parcialmente en piedra con revestimientos internos de arcilla; según los excavadores, la cúpula también era de arcilla con una chimenea central (Pereira 1997: 62). También se excavaron estructuras de combustión de planta circular, de dimensiones más reducidas que las anteriores pero construidas con la misma técnica. Desafortunadamente no se proporciona ningún dato que permita determinar si existe una diferencia cronológica entre los distintos tipos y el uso de estas estructuras, ya que el periodo de funcionamiento de la zona industrial fue bastante largo, abarcando desde el siglo VII hasta por lo menos el siglo V-IV a.C., cuando Santa Olaia fue abandonado.

En asociación con los “hornos” de la zona industrial se encontraron algunos fragmentos de toberas, abundante ceniza, restos de carbón y adobes. Asimismo, se

recogieron escorias, goterones de plomo, restos de fundición (no se sabe de qué tipo de metal) y fragmentos de vasijas metalúrgicas con escorificaciones adheridas en su interior; hay que destacar también la presencia de un fragmento de carbón mineral (lignito?) y, dentro del mismo sector, de un fragmento de “colador”, un tipo de recipiente asociado por varios autores a la fabricación de copelas. En este sentido se interpreta también el hallazgo en otra zona del yacimiento de unos hornos para fabricar cal que, junto con la presencia de numerosos restos óseos, han sido asociados a una posible producción de copelas (Pereira 1997: 62). Sin embargo, actualmente no hay ninguna evidencia que apoye esta teoría ya que los fragmentos de copelas analizados hasta ahora tienen una composición predominantemente cerámica (Hunt 2003).

Es evidente pues que las actividades metalúrgicas tuvieron una especial importancia en la economía de Santa Olaia pero actualmente no se dispone de ningún dato concreto que permita aclarar cual fue el metal trabajado. Independientemente de la interpretación que se quiera dar a los “coladores”, al uso de la cal y de la ceniza de hueso para una posible fabricación de copelas, la presencia de goterones de plomo asociados a las estructuras pirometalúrgicas excavadas podrían sugerir que se estaban llevando a cabo procesos relacionados con una metalurgia de plomo-plata. Habría que comprobar la naturaleza de las escorificaciones adheridas a las vasijas metalúrgicas y a qué tipo de metalurgia se pueden vincular las escorias encontradas.

Como ya se ha mencionado antes, actualmente en la Carta de Minas portuguesas no se señala ningún recurso metalífero en la región en la que se encuentra el yacimiento pero, como sugiere Arruda (2000: 238), es posible que el topónimo “Ferrugental” de un centro cercano a Santa Olaia, situado en las inmediaciones de Crasto de Tavadre, podría estar sugiriendo la presencia de depósitos de mineral de hierro que, al no tener interés económico para la explotación industrial moderna, no fueron incluidos en la Carta de Minas. Además ya Rocha (1908), por el descubrimiento de algunas escorias y fragmentos de toberas durante las primeras excavaciones en Santa Olaia, propuso que se podría tratar de los restos de la transformación (forja) de metal y, aunque no se dijera explícitamente a qué metal se estaba refiriendo, es posible que, además de metales no ferrosos, se estuviera trabajando también el hierro.

De todos modos, la localización estratégica del yacimiento en el estuario de un río, el Mondego, y la posibilidad de que Santa Olaia entonces constituyera una pequeña isla con óptimas posibilidades defensivas y fácil acceso por vía fluvial al interior de la región, hacen de este centro un asentamiento que puede ser perfectamente enmarcado

dentro de los patrones topográficos fenicios y con todos los requisitos para constituir un importante *port of trade*. Según Arruda (2000: 254), los minerales de estaño y de oro presentes por ejemplo en la zona de Alva (Castro Daire) llegarían al Baixo Montego mediante una ruta que podría haber sido controlada por Conimbriga, la actual Coimbra, que gozaba de una situación geográfica especialmente favorable para ejercer este tipo de control del territorio. De hecho, la Beira Interior es una región especialmente rica en recursos de estaño, oro y también cobre, y su explotación está atestiguada ya desde el Bronce Final (Vilaça 1995). La ruta que llevaría los minerales explotados hasta Santa Olaia, en donde se procesarían y se comercializarían los productos obtenidos, seguiría aproximadamente el curso fluvial del Mondego, a lo largo del cual Conimbriga constituiría un importante centro con un papel relevante en la organización del territorio y gestión de los recursos de la región (Arruda 2000: 254).

En resumen, las investigaciones arqueológicas llevadas a cabo hasta ahora en Portugal siguen proporcionando una visión parcial de la que tuvo que ser la dinámica ocupacional del territorio por parte de los fenicios, de su interacción con las comunidades indígenas para el aprovechamiento de los recursos naturales de la zona, en particular de los recursos metalíferos, y de la importancia que tuvo la producción de metales en la economía local. Sin embargo, a pesar de que las evidencias de actividades metalúrgicas sean todavía muy escasas, a partir de los datos extrapolados hasta ahora por estas investigaciones el cuadro que se perfila podría presentar ciertas analogías con el que se ha observado en la zona onubense y también en las provincias de Córdoba y Jaén. La existencia de varias rutas para el transporte del mineral desde el interior hasta la costa y para la comercialización de los productos obtenidos, junto con el comercio local de los materiales de intercambio, parece apuntar a una red de yacimientos –bien de filiación oriental o bien orientalizantes– distribuidos capilarmente en todas las zonas mineras de las Beiras, del Alentejo y de la Serra do Algarve.

Recientes investigaciones llevadas a cabo en la zona de las Beiras (Senna-Martínez 2005) están proporcionando varios elementos que parecen apoyar esta estrategia territorial. Se ha identificado una serie de centros en los que se han recogido restos relacionados con la producción de metales: varios yacimientos del Grupo Baiões/Santa Luzia y de la Beira Interior han proporcionado principalmente moldes y restos de fundición pero sólo en dos de estos centros –Cabeço do Crasto de S. Romão (Seia) y Castro da Senhora da Guia (Baiões, S. Pedro do Sul)– se han hallado también

escorias y restos de fundición. Éstos corresponden a los únicos dos poblados en los que la metalurgia pudo haber jugado un papel significativo dentro de su economía ya que en los otros la producción de metales parece ser a pequeña escala, probablemente sólo a nivel doméstico (Senna-Martínez 2005: 904-905). Además, a diferencia de los yacimientos indígenas de la zona suroeste peninsular, en esta área centro-septentrional no se trata de fundaciones *ex novo* debidas al contactos con los fenicios, sino más bien se observa cierta continuidad en su tradición metalúrgica que parece empezar ya en el siglo XII a.C. Sin embargo, parece que la producción de metales vivió un nuevo florecimiento a partir del siglo VIII a.C. y este fenómeno tuvo que ser debido a la actividad comercial de los semitas en esta zona, una región minera de fundamental importancia para el aprovechamiento sobre todo de estaño y oro.

En todo caso, hasta que no se profundice en el análisis tanto arqueológico como minero-metalúrgico de los yacimientos localizados en el *hinterland* de las colonias fenicias y en proximidad de las principales regiones mineras portuguesas explotadas en la Antigüedad, no se podrá avanzar ninguna hipótesis realmente concluyente sobre la importancia que pudo tener la obtención de metales en época fenicia en esta zona peninsular.

2. LA COLONIA FENICIA DE LA FONTETA: UN TALLER METALÚRGICO DE ÉPOCA ARCAICA

2.1 INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha han sido publicados varios trabajos sobre La Fonteta que proporcionan un cuadro bastante exhaustivo de sus principales rasgos arquitectónicos y de su registro material, remitimos por tanto a ellos para una descripción detallada del yacimiento¹. Además, recientemente ha sido publicado el primero de los tres volúmenes monográficos dedicados a los resultados de las campañas arqueológicas llevadas a cabo en La Fonteta (González Prats 2011d). En este primer trabajo, dedicado principalmente al estudio de los materiales cerámicos, se recogen todas las memorias de excavación con un amplio apartado gráfico que completa la información ofrecida. Por tanto, en este capítulo se mencionarán sólo brevemente las características generales de La Fonteta y se comentará su articulación territorial dentro del área inmediatamente circundante, centrando nuestra atención sobre todo en las evidencias metalúrgicas encontradas en el yacimiento, tanto en los restos materiales como en los espacios y estructuras que se han podido relacionar con las actividades para la producción de metales.

El yacimiento de La Fonteta –cuyo topónimo hace referencia a una fuente de agua dulce que se encuentra en sus cercanías– está situado a 28 km al sur de Alicante (Fig. 2.1), dentro del Parque Natural de Dunas de Arena, a 1 km aproximadamente del núcleo urbano de Guardamar del Segura (González Prats 1999: 4).

En la antigüedad La Fonteta era un yacimiento costero ubicado en la desembocadura del río Segura, en su margen derecha, aunque hoy en día, debido a los cambios que han afectado a la costa a lo largo de los siglos y también por un reciente desvío del curso fluvial, se encuentra a unos 500 m al oeste de su actual estuario (Fig. 2.2). Además, algunos estudios paleotopográficos sugieren que originariamente la zona en la que se encuentra La Fonteta constituía un promontorio sobre el mar formando, al igual que El Molar al norte, el extremo meridional de un amplio estuario o golfo (González Prats 2007: 73) (Fig. 2.3).

¹ González Prats 1997, 1998a, 1998b, 1999, 1999-2000 y 2001; González Prats y García Menárguez 2000; González Prats y Ruiz Segura 2000; González Prats 2007 y 2010, Rouillard *et al.* 2007, entre otros.

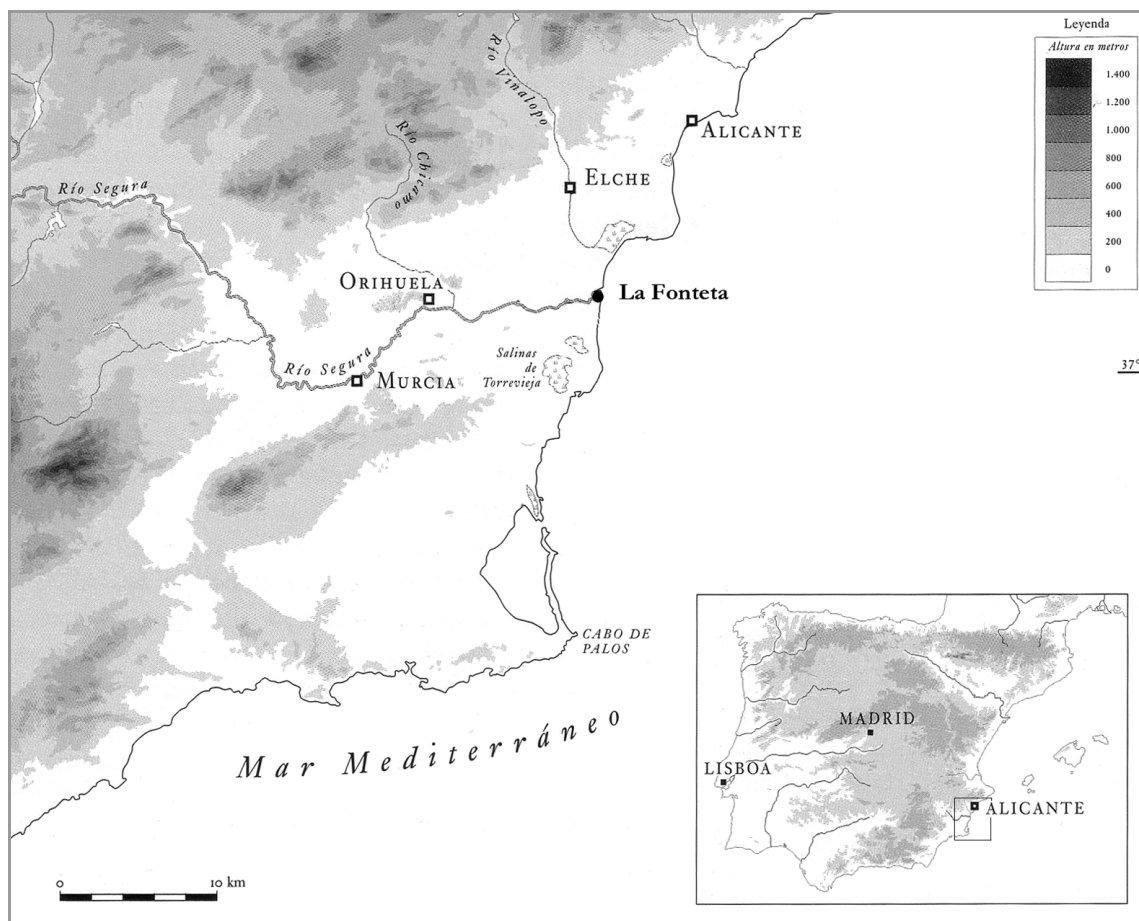


Fig. 2.1. Localización del yacimiento de La Fonteta (mapa modificado a partir de Azuar 2004: 8).

Ya desde la mitad de los años setenta, Schubart y Arteaga habían señalado la posibilidad de que existiera un puerto comercial junto a la desembocadura del río Segura, y se supuso que podría haber estado ubicado en Tabarca, un pequeño islote que se encuentra a pocos kilómetros enfrente de la costa (Schubart 1975). Esta situación geográfica reproducía un patrón de asentamiento que ya había sido documentado en varios asentamientos fenicios tanto de la madre patria (Tiro y Arado en Fenicia) como del mundo colonial occidental: por ejemplo en Cádiz, en Mogador en Marruecos, Cartago en Túnez, Sant'Antioco en Cerdeña o Mozia en Sicilia, entre otros (Moscati 1988: 26-27; González Prats 1990: 1). Pero fue solamente en el año 1984, durante una campaña de excavación en el yacimiento islámico de la Rábida califal, situado en la misma área arqueológica dentro del Parque de Dunas de Arena (Fig. 2.4), cuando se descubrieron las primeras evidencias de un asentamiento más antiguo.

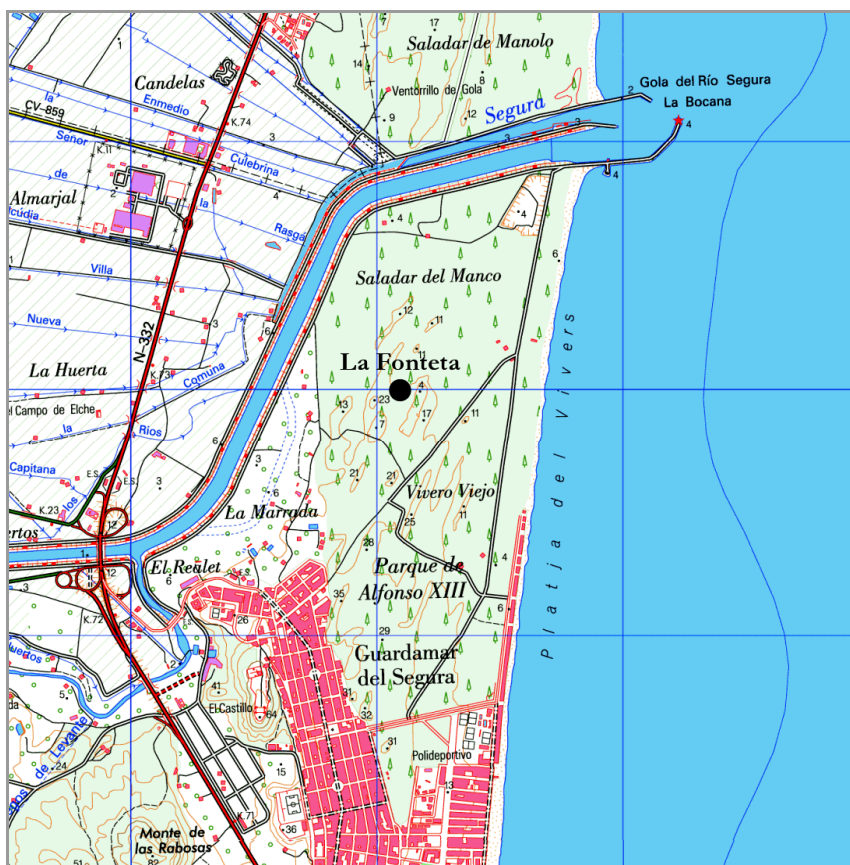


Fig. 2.2. Detalle de la ubicación del yacimiento de La Fonteta (modificado a partir del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000, hoja nº 914-2, en formato digital ráster²).

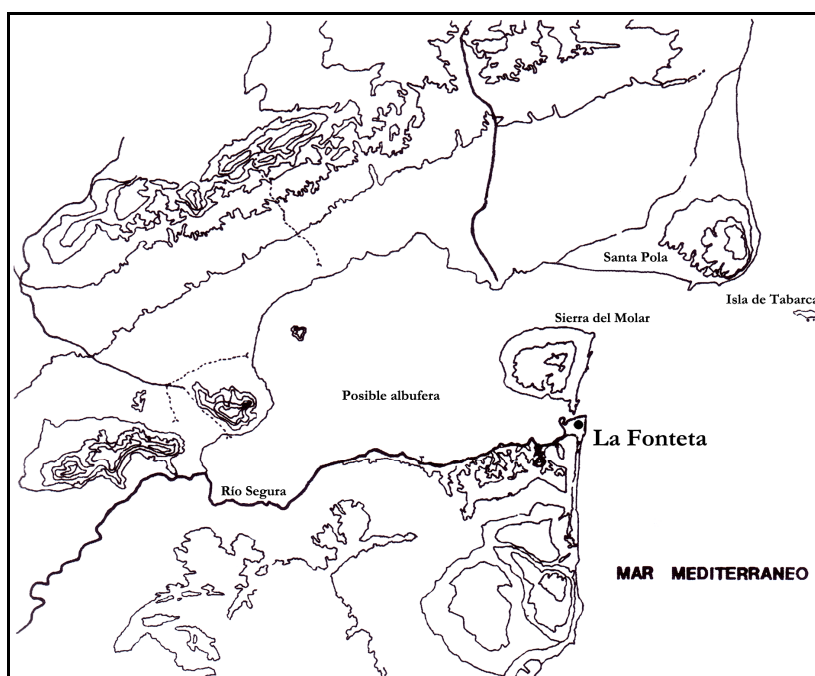


Fig. 2.3. Posible reconstrucción de la antigua línea de costa en la Vega Baja del Segura y del Vinalopó (modificado a partir de González Prats 1999-2000).

² Centro Nacional de Información Geográfica. Centro de descargas.
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>



Fig. 2.4. Los yacimientos de La Fonteta y La Rábita califal en el Parque de Dunas de Arena (imagen Google Earth).

Los abundantes hallazgos de cerámica de barniz rojo y de ánforas confirmaron la posible presencia en esta área de un yacimiento fenicio, una hipótesis que ya había sido sugerida tanto por la situación topográfica de Guardamar como por los numerosos hallazgos de materiales fenicios en varios poblados indígenas de la Comunidad Valenciana (Vives-Ferrándiz 2005), como por ejemplo en el yacimiento de Peña Negra situado en la Sierra de Crevillente (González Prats 1990: 3). Además, la instalación de un poblado costero cerca de una zona lagunar, óptima para la explotación de la sal, y con un *hinterland* que presentaba buenos potenciales para el aprovechamiento agrícola, eran características familiares a una tipología de asentamiento ya documentada en muchos centros fenicios del Mediterráneo.

La existencia de un poblado fenicio en el paraje de La Fonteta fue confirmada por unos sondeos geológicos que permitieron identificar un potente nivel arqueológico con abundante material fenicio, aparecido seis metros por debajo de la capa de arena dunar, en la vertical de los edificios islámicos más antiguos (González Prats 1990: 1). Asimismo, en el año 1988 fue efectuada una prospección geofísica en toda el área de la Rábita, y alrededor del edificio principal se detectaron anomalías correspondientes a imponentes estructuras en piedra que posteriormente resultaron ser tramos de la muralla que rodeaba el yacimiento fenicio (Azuar *et al.* 1998: 112).

Al año siguiente se empezaron a solicitar permisos para realizar una investigación arqueológica más exhaustiva en la zona y sacar a la luz el núcleo habitacional fenicio; y después de unos complejos trámites administrativos, la primera excavación tuvo lugar en 1996 y se llevaron a cabo seis campañas, siendo la última la que se realizó en 2002 cuando el trabajo de campo fue interrumpido debido a problemas burocráticos y de conservación de las estructuras.

Las excavaciones en La Fonteta fueron incluidas en el proyecto de investigación del Área de Prehistoria de la Universidad de Alicante “*Colonización fenicia e interacción cultural con las comunidades indígenas del Sudeste de la Península Ibérica*” y dirigidas por el Prof. Dr. Alfredo Gonzáles Prats y por Doña Elisa Ruiz Segura (González Prats 1999: 3). Paralelamente, también fueron llevadas a cabo excavaciones por parte del Museo Arqueológico de Alicante y de un equipo de arqueólogos franceses de la Casa de Velázquez (Madrid), dirigidas por el Prof. Dr. Pierre Rouillard, cuyos resultados han sido publicados en un reciente volumen monográfico (Rouillard *et al.* 2007).

Los materiales estudiados en esta Tesis Doctoral corresponden únicamente a los hallazgos procedentes de las excavaciones dirigidas por el Prof. Dr. Alfredo González Prats.

La excavación en La Fonteta del imponente sistema defensivo que rodeaba el poblado permitió realizar una clara distinción cronológica entre los dos grandes periodos de utilización del yacimiento: uno anterior a la construcción de la muralla, denominado **La Fonteta Arcaica**, y otro posterior que corresponde a **La Fonteta Reciente**. A su vez, dentro de los dos periodos principales se diferenciaron varias fases: La Fonteta Arcaica (**FA**) incluye las fases I-III de ocupación del yacimiento y abarca desde la primera mitad del siglo VIII al tercer cuarto del siglo VII a.C. (Tabla 2.1); La Fonteta Reciente (**FR**) va desde el tercer cuarto del siglo VII hasta la mitad del VI a.C. e incluye las fases IV-IX, siendo la fase IV el momento en el que se erige el recinto amurallado (Tabla 2.2). El último periodo de ocupación del poblado –la fase IX, que es anterior a la construcción de la Rábida de época islámica– corresponde al momento de destrucción y derrumbe de la muralla, y coincide con una gran invasión de dunas de arena que afectó a toda el área alrededor del yacimiento, favoreciendo un buen estado de conservación de las estructuras (González Prats 1999: 8). La secuencia ocupacional

del yacimiento fenicio abarca pues un arco cronológico que va aproximadamente desde la primera mitad del siglo VIII hasta la mitad del siglo VI a.C.

A este punto, es necesario hacer algunas puntualizaciones a propósito de la secuencia cronológica de La Fonteta. De acuerdo con las dataciones convencionales, el momento inicial de la colonización fenicia en Occidente, se suele atribuir al siglo VIII a.C. pero desde hace unos años esta fecha es objeto de discusión³.

Ya a finales de los años setenta se empezaron a realizar estudios analíticos para conseguir una mayor definición de la cronología de los yacimientos arqueológicos, y se efectuaron análisis radiocarbónicos de materiales procedentes de algunos de los principales centros fenicios del litoral ibérico (Almagro Gorbea 1977: 541-543; Schubart 1982: 81-82). Los resultados obtenidos proporcionaron dataciones que obligaron a revisar las cronologías tradicionales de las primeras instalaciones coloniales fenicias, establecidas en general dentro del segundo cuarto del siglo VIII a.C., concretamente entre el 780 y el 760 a.C. (Torres 1998: 49). Pero fue solamente en los años noventa cuando algunos estudiosos (Aubet 1994; Castro 1994; Castro *et al.* 1996; Mederos 1996) empezaron a proponer cronologías algo más altas para el comienzo de la colonización fenicia en Occidente.

Estas propuestas encontraron elementos de apoyo en la correlación establecida entre los análisis radiocarbónicos de materiales recogidos en niveles contemporáneos de poblados tartésico-orientalizantes y la secuencia dendrocronológica de algunos yacimientos palafíticos del Bronce Final en Suiza y de algunas culturas de la Edad del Hierro en Italia (Torres 1998: 49-50). Por tanto, esta primera revisión de las dataciones establecidas para la fundación de las más antiguas colonias fenicias en la Península Ibérica, sugiriendo adelantar aproximadamente unos cincuenta años las cronologías tradicionales. La fecha calibrada obtenida para la fundación de estos centros rondaría pues el 825 cal AC, proporcionando un elemento cronológico a favor de los que sostenían la credibilidad de algunas de las fuentes clásicas en las que se atribuía la fundación de Cartago al último cuarto del siglo IX a.C.

³ Para una visión general sobre la cuestión de la cronología de los comienzos de la colonización fenicia en Occidente, remitimos a los trabajos de Torres 1998; Mederos 2005 y Torres 2008a y 2008b.

Fases		Secuencia estratigráfica por Cortes							Descripción	Cronología
		25	7	8	5	14	5N	54	1	
III	B2		B9	B9	B9	B8b				c. 670-635 a.C.
	B1									
	A2		B10 B11a B11b B12ac	B10 B11a B11b	B10 B11a B11b	B9a B9b B9c B9d		A4b	A4b	
	A1									
II	B	B1 - B6 B7		B11c B11d	B11c B11d	B10	B8 B9 B10 B11	B1 B2 B3 A5a	B1 B2 B3 A5a	c. 720-670 a.C.
	A	- B10 - B14	B12d							
I	B	C1		B12	B12		B12	B5f B6 B13	A5b B4	c. 760-720 a.C.
	A	C2		C	C	C	C			

Tabla 2.1. Cuadro de periodización y correspondencias estratigráficas de La Fonteta Arcaica (FA) (según González Prats 2011d: 14-15).

Fases		Secuencia estratigráfica por Cortes								Descripción	Cronología
		25	7	8	5	14	5N	54	1		
X	B		A1a	A1a	A1a	A1a	A1a	A1a	A1a	Formación de capa de barro.	
	A		A1b	A1b	A1b	A1b	A1b	A1b	A1b	Estrato ceniciento generado por actividad de horno de piedra.	Islámico
IX	C		A1c	A1c	A1c	A1c	A1c	A1c	A1c	Invasión de arena dunar.	
	B		A1d	A1d	A1d	A1d	A1d	A1d	A1d	Derrumbe del alzado de piedra de la muralla.	Post 545 a.C.
	A		A2a	A2a	A2a	A2a	A2a	A2a	A2a	Caída de barro y adobes de la superestructura de la muralla.	
VIII			A2b							Tahona de barro. Restos de vivienda con robusto zócalo de piedra. Plataforma cuadrada.	c. 550 a.C.
VII			A2b	A2c						Horno metalúrgico y cobertizo adosado.	
VI	B	A1 A2	B1 - B7a	A3a A3b	A2b A3a		A3	A3c A3b A3a A2cd	A3a A3b A2c A2d	Cobertizo sobre vertedero. Depósito dunar (54: A3c).	c. 580-560 a.C.
	A	A3 A4	A3				A4a	A2ef A2ef		Gran vertedero sobre áreas constructivas precedentes.	
V			B7b A4 A5				A4b A4b A5 A6			Viviendas pluricelulares con altos zócalos de mampostería y alzado de adobes, adosadas a la cara interna de la muralla, amortizando refuerzos y tirantes. Gran horno de adobes.	c. 625-580 a.C.
IV	C			A4a A4b A4c	A4a A4b A4c1 A4c2				A3d A3e	Fase de habitación junto a la muralla.	c. 635-625 a.C.
	B		B8a				A7b			Erección de un sistema defensivo con muralla de tres cuerpos, foso y antemural de adobes. Utilización de estelas y molduras amortizadas como piedra de construcción en la muralla.	
	A			B8a		B8a		A4a	A4a	Fase de preparación del asiento de la muralla.	

Tabla 2.2. Cuadro de periodización y correspondencias estratigráficas de La Fonteta Reciente (FR) (según González Prats 2011d: 14-15).

Más recientemente se han obtenido nuevos resultados gracias al análisis de materiales procedentes de varios yacimientos peninsulares atribuidos tanto a una fase precedente a la presencia estable fenicia como al periodo fenicio propiamente dicho, es decir al comienzo de las fundaciones coloniales (Torres 2008b). Estos datos apuntan a la existencia de una primera etapa, fechada a finales del siglo XI-comienzos del X a.C., en la que la relación entre los fenicios y las poblaciones ibéricas estuvo vinculada principalmente a las transacciones comerciales establecidas entre el Próximo Oriente y el Occidente, de un periodo precolonial fechado a finales del siglo X y en el siglo IX a.C. en el que se instalan emporios fenicios en el territorio, como por ejemplo el de Huelva (González de Canales *et al.* 2004), y de la época en la que se fundan las primeras colonias que se remontarían a finales del siglo IX a.C. (Torres 2008b: 143).

De todos modos, la cuestión sigue siendo controvertida y se necesitan nuevas evidencias que confirmen esta tendencia; por tanto, por lo que concierne a La Fonteta – ante la falta de análisis radiocarbónicos para datar con más precisión sus fases de ocupación–, aunque se considere probable que su fundación sea anterior a la fecha convencional establecida, en este estudio se utilizará la secuencia cronológica propuesta por los excavadores (González Prats y García Menárguez 1998) y mostrada en las Tablas 2.1 y 2.2. También es necesario mencionar la cronología propuesta por el equipo francés que ha excavado en La Fonteta paralelamente al de la Universidad de Alicante. De acuerdo con el estudio de la cultura material del yacimiento publicado en la monografía anteriormente citada, se propone una secuencia ocupacional algo más tardía con respecto a la cronología sugerida por el Prof. Dr. Alfredo González Prats, situando los comienzos de la ocupación en el último cuarto del siglo VIII a.C. y el momento de abandono del yacimiento a finales del siglo VI a.C. (Rouillard *et al.* 2007).

Por lo que concierne a la extensión total de La Fonteta, la falta de una prospección geofísica completa del área no permite reconstruir su tamaño original. Sin embargo, de acuerdo con los restos actualmente documentados, se ha supuesto que el poblado en la fase arcaica pudo tener una extensión de unas 5 hectáreas (González Prats 2011d: 4), a diferencia de la fase reciente en la que su perímetro se vio notablemente reducido pudiendo estar, según los estudios del equipo francés, alrededor de 1,5 ha (Rouillard *et al.* 2007: 510).

La detección de niveles arcaicos también en la zona externa al tramo occidental de la muralla, en los Cortes 65-66, así como en la zona NE del recinto defensivo excavada

por los arqueólogos franceses, nos confirma que hubo una reducción del perímetro urbano a partir de la fase IV. De hecho, la construcción de la muralla amortizó varias estructuras de La Fonteta Arcaica y parte del antiguo núcleo urbano quedó fuera del recinto defensivo, mientras en su interior parecen concentrarse todos los restos arquitectónicos atribuibles a la fase reciente (González Prats 1999: 8-9) (Fig. 2.5). De todos modos, hay que esperar a que se retomen las investigaciones arqueológicas en la zona de la desembocadura del río Segura y se amplíe el área de excavación en el yacimiento para poder presentar datos más precisos sobre la extensión global del asentamiento y para explicar si se trató de repliegue topográfico o de un desplazamiento del núcleo urbano durante la fase FR, y el por qué de esta decisión.



Fig. 2.5. Planimetría de las excavaciones (1996-2001) de La Fonteta (según González Prats 2011d).

A pesar de los cambios producidos en la topografía del yacimiento por la erección de la muralla, la técnica de construcción documentada en los edificios de La Fonteta sigue siendo la misma tanto en la fase FA como en FR. Todas las estructuras presentan un aspecto muy homogéneo y orientación similar, y en algunos casos las de las fases más recientes se superponen a las anteriores, como se ha podido observar por ejemplo en un edificio del Corte 7 donde los muros de la fase V coinciden verticalmente con los de una estructura de la fase III (González Prats 2007: 74-75).

La técnica utilizada preveía un zócalo de mampostería –cuya altura varía según los casos, alcanzando un máximo de 1 m– y un alzado realizado con adobes de forma cuadrangular que pueden presentar distintas coloraciones, desde el amarillento-anaranjado al verde y gris oscuro, y estaban fabricados mezclando el barro con diferentes tipos de materiales orgánicos, en general paja, cañas o posidonias (González Prats 2007: 75).

Por último, merece la pena mencionar brevemente las características principales del recinto amurallado de La Fonteta, no sólo por su imponente tamaño sino también por constituir un indicador del importante cambio que tuvo que producirse entre las fases III y IV del yacimiento y que obligó a los habitantes de la colonia a defender su hábitat (Fig. 2.6).



Fig. 2.6. Corte 65. Tramo W y bastión de la muralla de La Fonteta (según González Prats 1999-2000).

Durante las excavaciones de la Universidad de Alicante se sacaron a la luz más de 60 m lineales de muralla y, teniendo en cuenta a qué distancia se encontraron las piedras del derrumbe, se ha calculado que su altura original pudo estar alrededor de unos 12 m, con un zócalo que en algunos puntos llega a medir unos 4 m.

Los elementos que componen esta estructura son el cuerpo propiamente dicho, un antemural o *proteikisma* y un foso; asimismo, se ha documentado la existencia de bastiones de planta trapezoidal y cuadrangular utilizados como refuerzos en las esquinas del perímetro defensivo. Se han descubierto tres de estos bastiones, uno en la esquina SE del recinto (Cortes 65 y 66) y otros dos en la mitad del tramo meridional, separados por una distancia de unos 12 m (González Prats 2007: 77-78).

El foso fue identificado en el Corte 14 donde, para su realización, se amortizaron las estructuras pertenecientes a FA. Este foso presentaba forma en V con 2,5 m de anchura y 1,10 m de profundidad, y estaba situado a 4 m del paramento de la muralla, siguiendo su orientación; fue identificado también en los Cortes 54 y 1 donde estaba situado entre el antemural y la muralla (González Prats 2007: 79-80).

La técnica edilicia empleada para la construcción tanto de la muralla como de los bastiones preveía un alzado de adobe con un zócalo de mampostería realizado con sillares de piedra blanda –generalmente arenisca, piedra caliza o dunas fósiles–, cuya anchura media estaba alrededor de 4,5 m. Al cuerpo central del recinto se apoyaban en sus caras interna y externa recubrimientos o refuerzos en talud que le proporcionaban un mayor espesor, hasta alcanzar los 7 m (González Prats 2007: 77-78). Hay que destacar además un interesante elemento constructivo que reducía el peligro de destrucción y deterioro de la muralla debido a los frecuentes fenómenos sísmicos registrados en el territorio del Bajo Segura. Se trata de unos tirantes –construidos también con un zócalo de mampostería y alzado de adobe– colocados en varios puntos, transversalmente al paramento interno de la muralla, para aumentar su estabilidad y elasticidad repartiendo las eventuales tensiones a lo largo de su perímetro (González Prats 2007: 78).

También hay que mencionar la reutilización para la construcción del zócalo de la muralla de bloques de piedra labrada que pertenecían a edificios anteriores, entre los cuales destacan tres fragmentos de cornisas en forma de gola egipcia que fueron hallados entre las piedras del derrumbe del recinto en el Corte 14; otra de estas molduras fue reutilizada también en la construcción del horno metalúrgico excavado en el Corte 8 y perteneciente a la fase VII. Este tipo de elementos arquitectónicos en el

Próximo Oriente son característicos de santuarios y templos, y por tanto es posible que procedieran de una cercana área sacra que, por razones desconocidas, fue desmantelada y sus sillares reutilizados para la construcción de la muralla. Asimismo, en el estrato de derrumbe cercano al ángulo suroriental de la muralla, se encontraron algunas estelas-betilos que tenían que proceder de un área funeraria o *tophet* cuya presencia en la Península Ibérica no ha sido documentada todavía, aunque sí se conocen en otras colonias fenicias de Occidente (González Prats *et al.* 1997: 10-11; González Prats 2011a: 658). A estos hallazgos hay que añadir los numerosos elementos arquitectónicos reaprovechados para la construcción del edificio islámico y que originariamente también tuvieron que formar parte del zócalo de la muralla fenicia.

Por lo que concierne al registro material, el número de hallazgos ha sido especialmente abundante, sobre todo gracias a la excavación en varios cortes de espacios reutilizados como basureros.

El repertorio cerámico es muy amplio e incluye todas las tipologías de filiación fenicia, entre las cuales, aparte de los abundantes hallazgos de cerámica de barniz rojo, destacan por cantidad las ánforas y las vasijas con decoraciones monocromas y bícromas. También está documentada la cerámica gris y se han encontrado varios fragmentos de cerámica protocorintia y griego-oriental cuya presencia ha contribuido a establecer la cronología tanto del conjunto arquitectónico como de la cultura material del yacimiento. Asimismo, ha sido llevado a cabo un estudio analítico de las pastas cerámicas de una amplia selección de fragmentos cuyos resultados, publicados recientemente (González Prats 2008; González Prats 2011b; Seva Román *et al.* 2011), confirman la presencia de materiales de producción peninsular –entre los que destacan varios grupos fabricados en la Costa Andaluza Mediterránea (CAM)– y también de producciones de procedencia extrapeninsular (González Prats 2011b; Seva Román *et al.* 2011).

Entre los materiales no-cerámicos destacan los numerosos hallazgos de vasos de huevos de avestruz que superan los 150 fragmentos y casi todos presentan internamente restos de ocre rojo y externamente motivos decorativos bícromos (González Prats 1999: 35). También se han documentado varios elementos de marfil y hueso. Se ha recogido además una significativa cantidad de objetos metálicos, principalmente de base cobre, cuyo repertorio es muy amplio y variado, destacando distintos tipos de fibulas, algunos broches de cinturón, elementos de adorno personal y numerosos anzuelos que

documentan la difusión de la actividad pesquera (González Prats 2010), confirmada también por el hallazgo de varias pesas de red fabricadas en plomo y por la abundante presencia de restos de ictiofauna.

De todos modos, lo que más destaca del registro material de La Fonteta es el número y la variedad de los restos arqueometalúrgicos documentados que constituyen el conjunto más amplio encontrado hasta la fecha en un yacimiento fenicio. Una selección de estos materiales se examinará en detalle más adelante, siendo su estudio el principal objetivo de esta Tesis.

2.2 LAS EVIDENCIAS ARQUEOMETALÚRGICAS

Evidencias de actividades metalúrgicas fueron documentadas en todos los cortes excavados y se han podido asignar a ambos periodos ocupacionales del yacimiento, La Fonteta Arcaica y La Fonteta Reciente. Sin embargo, la mayoría de las estructuras y materiales relacionados con la producción de metales pertenece a las fases más antiguas, ya que gran parte de estas evidencias apareció por debajo de la capa de asiento de la muralla fechada en la fase IV (González Prats y Ruiz Segura 1999: 355). Allí, el descubrimiento de unos depósitos de vertidos –en particular los que fueron excavados en los Cortes 5N, 54 y 1– contribuyó notablemente a incrementar el número de restos metalúrgicos pertenecientes a FA. Estos vertederos constituían un depósito de gran espesor, alcanzando en alguna zona hasta 2 m de potencia, y estaban formados por una serie de estratos en los que aparecían no solamente abundantes residuos de estas actividades sino también alguna estructura de combustión, con los correspondientes restos de revestimientos y/o paredes. Los estratos de escombros fueron acumulados directamente sobre la antigua línea de costa, como se pudo observar en los Cortes 54 y 1, en un área suficientemente alejada de la zona de viviendas probablemente para que no hubiera molestias derivadas de los humos y de los subproductos de estas actividades (González Prats 2010: 34).

Con respecto a FA, FR sólo ha proporcionado unos pocos restos de estructuras relacionadas con estas actividades así como una cantidad sensiblemente inferior de materiales arqueometalúrgicos –principalmente escorias y restos de fundición–, que constituyen poco más del 6% del total de los residuos metalúrgicos hallados. Pero, debido al tamaño relativamente reducido de la zona excavada, y sobre todo en

consideración de la extensión total estimada del yacimiento, no se puede determinar si esta significativa diferencia entre los testimonios de las actividades metalúrgicas pertenecientes a los dos grandes periodos de vida de La Fonteta esté reflejando un cambio en su economía o si la producción de metales en la fase FR fue llevada a cabo en una zona distinta y más alejada del yacimiento.

En la zona de hábitat situada al interior de la muralla se identificaron varios ambientes vinculados con la realización de actividades metalúrgicas tanto por la presencia de estructuras de combustión como por los abundantes hallazgos de residuos metalúrgicos.

Empezando desde la zona E de la excavación, nos encontramos con el **Corte 5N** (redenominación del Corte 6), en el cual se excavó una estructura de la fase V caracterizada por amplios muros e interpretada como una posible torre de vigilancia en relación con el cercano bastión (González Prats 1998b). Debajo de esta estructura y de la capa de asiento de la muralla de la fase IV se encontró un amplio depósito que proporcionó abundante material metalúrgico (más de 150 fragmentos de distinto tipo) correspondiente a una de las primeras fases de frecuentación del yacimiento. Este depósito estaba compuesto por varios estratos (B8, B9 y B10) fechados en la fase II, en el que se recogieron evidencias de residuos vinculados principalmente con una metalurgia no ferrosa, en particular de base cobre y de plomo, aunque se ha documentado también algún posible residuo de la producción de hierro.

Entre los hallazgos recogidos hay que destacar la presencia de unos 30 fragmentos de vasijas de uso metalúrgico, unos 75 fragmentos de toberas de distinto tipo, algún fragmento de molde lítico, varias escorias y restos de fundición. Con respecto a la producción de plomo, se encontró un nódulo de galena y varios goterones de plomo, mientras la producción de hierro podría estar documentada por algún fragmento de mineral férrico –principalmente ocre, por lo cual no se puede excluir su uso como pigmentos– y un par de fragmentos de escorias aparentemente de hierro.

Además, entre los estratos B8 y B9 de este depósito, se documentó una pequeña estructura de combustión de forma ovalada, cuyo eje mayor superaba 1,10 m de longitud. La cubeta presentaba las paredes de barro y en su sección se observaban capas de ceniza y alguna piedra que originariamente pudo ser parte de la base del horno.

En asociación con esta estructura se encontró la parte superior de un ánfora A1 colocada al revés, con la boca sellada, y rellena del mismo tipo de estrato cenizoso que

se había documentado en la cubeta del horno. Los excavadores interpretaron la presencia de esta vasija cerca del horno como recipiente para contener el agua necesaria para las operaciones de temple del metal (González Prats 1999: 27).

Este corte apenas ha proporcionado evidencias de la fase FR, habiéndose encontrado solamente una escoria indeterminada, un fragmento de ocre y dos posibles restos de molde de arenisca, junto con algún elemento metálico entre los que merece la pena mencionar un asador de hierro de más de 70 cm de longitud, procedente de la estructura interpretada como posible torre de vigilancia y fechada en la fase V.

En el **Corte 5**, entre el lado oeste del Corte 5N y el lado oriental del Corte 8, también se recogieron abundantes evidencias de actividades metalúrgicas (González Prats 1998b). En los estratos de la fase III aparecieron sobre todo restos de fundición de base cobre y algún subproducto de la metalurgia de plomo y de plomo-plata, como un fragmento de litargirio, uno de copela y varios goterones de plomo. Sin embargo, la mayoría de los materiales metalúrgicos encontrados en este corte proceden de un estrato adscrito a la fase II, aparecido debajo de una de las estructuras anteriores.

En este estrato (B11) se diferenciaron tres distintas capas, siendo la inferior (B11c) la que proporcionó el mayor número de residuos, una treintena de fragmentos de distinto tipo que, como para el depósito excavado en el adyacente Corte 5N, están vinculados principalmente a la metalurgia de base cobre. Entre ellos destacan los numerosos fragmentos de vasijas de uso metalúrgico, algunos posibles fragmentos de revestimientos y/o paredes de horno, escorias y restos de fundición; también se recogieron algunos fragmentos de mineral de hierro, principalmente ocre, y un machacador de granito en el que todavía se pueden observar las huellas de uso (Fig. 2.7). El tipo de material proporcionado por este estrato B11 sugiere que podría tratarse de la continuación del depósito de vertidos metalúrgicos detectado en el Corte 5N.

Debajo de B11 se identificó una capa arenosa (B12), adscrita a la fase I, que rellenaba algunas estructuras vinculadas con la producción de metales y excavadas directamente en la base geológica. Se trata de tres cubetas posiblemente utilizadas en operaciones pirometalúrgicas y rodeadas por una serie de canalillos (de incierta función) y de otras cubetas de dimensiones menores. Sin embargo, el estrato B12 ha proporcionado sólo unos pocos fragmentos de escoria y restos de fundición.

En relación con estas estructuras se encontró una fosa de cremación con restos de un individuo adulto de sexo masculino que fue interpretada como un posible

enterramiento vinculado a un ritual de fundación dentro de un área destinada a operaciones metalúrgicas (González Prats 1998b) (Fig. 2.8).



Fig. 2.7. Corte 5, Fase II. Machacador de granito.



Fig. 2.8. Corte 5. Zona metalúrgica con fosa de cremación (según González Prats 2011d: 54; fig. 25).

Por último, el Corte 5 ha proporcionado también algún material metalúrgico de la fase reciente de La Fonteta. En particular, se excavaron algunos depósitos de vertidos (A2-A3) de las fases VI-V y uno (A4) de la fase IV que proporcionaron escorias, restos de fundición y evidencias de la metalurgia del plomo y de plomo-plata (un nódulo de galena, un fragmento de litargirio y goterotes de plomo). Además, se recogieron varios objetos metálicos tanto de base cobre y plomo como de hierro, entre los que destacan dos asadores, uno de 16,5 cm y otro de 32 cm de longitud.

En el **Corte 8** –situado entre el Corte 7 y el Corte 5– también se excavaron los depósitos inferiores al nivel de fundación de la muralla en los que se documentaron nuevas estructuras del complejo metalúrgico de La Fonteta Arcaica.

El estrato B10 que recubre los restos de unas viviendas de la fase III proporcionó varios fragmentos de moldes líticos, un fragmento de tobera, algunas escorias y restos de fundición. También se hallaron un posible mazo de minero con doble hendidura y, curiosamente, algunos restos de un cráneo humano.

Asimismo, se identificaron varios suelos arqueológicos (serie B11a-B11b) en el que se recogieron escorias y restos de fundición de base cobre, escorias férricas y un fragmento de litargirio. En asociación con estos estratos se identificó un canalillo con dos pequeñas fosas excavados en el nivel de relleno formado por arena y ceniza (González Prats 1998). Los estratos B11c y B11d pertenecen a un momento posiblemente anterior a la construcción de la vivienda de la fase III, concretamente a la fase II, y también han proporcionado algunos restos de moldes de arenisca, un fragmento de vasija de uso metalúrgico, escorias y restos de fundición.

Igualmente, aparecieron evidencias metalúrgicas de la fase más antigua (fase I). En la base geológica se identificaron los restos de tres pequeñas estructuras de combustión cuya actividad tuvo que ser intensa ya que llegó a alterar la coloración del estrato arcilloso sobre el que se asienta el yacimiento (González Prats 1999: 26-27). Estos hornos tenían formas distintas (Fig. 2.9). El central (Horno 1) presentaba forma circular con un estrechamiento en la zona de la boca y una protuberancia de barro cocido en el centro que ha sido interpretada por los excavadores como un soporte; su eje mayor medía 80 cm y su anchura 50 cm. El Horno 2 estaba situado a menos de 1 m de distancia al Este del anterior; tenía forma alargada y medía aproximadamente 1x0,35 m.

Por último, a 1,30 m al SW del Horno 1, estaba situado el Horno 3, de forma circular y con un diámetro de unos 50 cm, en el que todavía se podía apreciar el arranque de la pared cilíndrica que constituía el cuerpo del horno (Fig. 2.10).



Fig. 2.9. Corte 8. Zona metalúrgica con tres hornos. Foto A. González Prats.

A pesar de que en las tres cubetas se detectara la presencia de abundante ceniza, restos de barro con signos de afectación térmica, posiblemente revestimientos y/o paredes de estos hornos, los materiales metalúrgicos asociados a ellos son escasos y corresponden a unos pocos fragmentos de escorias y a restos de fundición que fueron encontrados únicamente en el Horno 3.

Como para el Corte 5, en asociación con estas estructuras de combustión se documentó la presencia de unos estrechos canales rellenos de arena, que desembocaban en una fosa de mayores dimensiones cuya función al momento no ha podido ser determinada (González Prats 1998).

Con respecto a FR, la fase IV está documentada por un paquete (A4) constituido por varios estratos de textura arenosa alternados a otros cenizosos, que estaban situados por encima del nivel de asiento de la muralla y que proporcionaron algunos restos

metalúrgicos correspondientes a fragmentos de toberas, alguna escoria y a un fragmento de ocre rojo.



Fig. 2.10. Corte 8. Zona metalúrgica, detalle del Horno 3. Foto A. González Prats.

En la fase central de La Fonteta Reciente esta zona fue utilizada como vertedero, como indicaba la presencia de un depósito espeso y homogéneo (A3) de más de 60 cm de grosor y formado por distintas capas de ceniza y detritus (González Prats 1998). Este depósito A3 proporcionó un copioso registro de materiales correspondientes a la fase VI, en el que destaca el amplio conjunto de objetos de base cobre, sobre todo de fibulas y elementos de adorno personal, junto con algunos elementos metálicos de plomo y hierro (González Prats 1999: 10). En el vertedero se recogieron también un fragmento de molino fabricado en piedra volcánica, un percutor de basalto, residuos de metalurgia relacionada principalmente con la producción de cobre y sus aleaciones –en concreto escorias y restos de fundición–, y fragmentos de minerales férricos. Además, se documentaron evidencias de metalurgia del plomo y de plomo-plata, de acuerdo con la presencia de numerosos goterones de plomo, de galena y de algunos fragmentos de litargirio.

El descubrimiento de estos depósitos constituye una evidencia importante de la continuación en las fases más recientes de las actividades metalúrgicas de La Fonteta Arcaica, confirmada también por el hallazgo de una estructura de combustión en el nivel inmediatamente superior al paquete de vertidos A3 (González Prats 2011d: 39, fig. 16). Este horno –que corresponde a una de las pocas evidencias metalúrgicas adscritas a la fase VII de La Fonteta, el periodo que precede al derrumbe de la muralla– presenta forma alargada y su eje seguía la misma pendiente de los estratos inferiores de Norte a Sur, al igual que toda la secuencia estratigráfica de la fase reciente (Fig. 2.11).

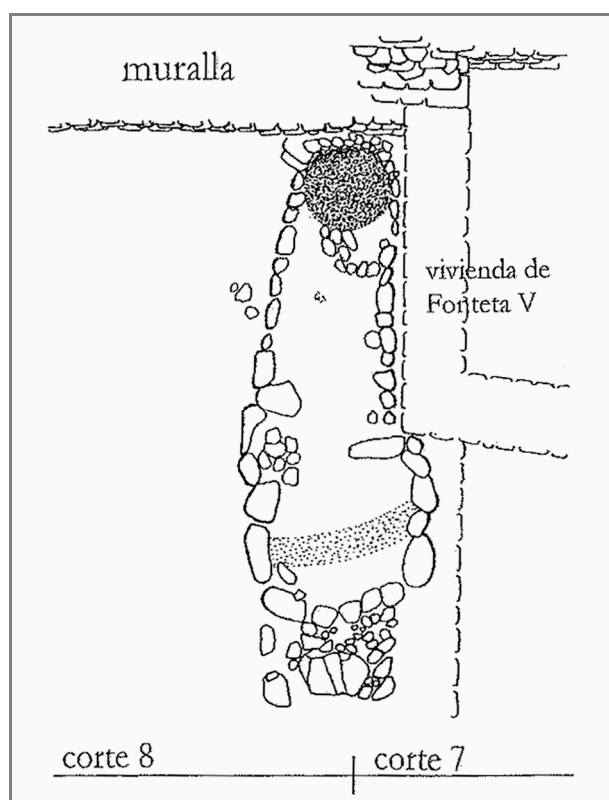


Fig. 2.11. Corte 8. Horno metalingico de la fase VII (según González Prats 2011d: 38, fig. 15).

La cubeta tenía forma aproximadamente circular, con un diámetro poco inferior a 1 m. Un conducto de tendencia rectilínea de 1,60 m de longitud y 1,40 m de anchura unía la cubeta con la base del horno que fue realizada con piedras de gran tamaño, alcanzando una anchura máxima de 2 m. Todos los estratos asociados a esta estructura contenían varios fragmentos de adobe con signos evidentes de afectación térmica, pero proporcionaron sólo unos pocos materiales vinculados a operaciones metalúrgicas, en concreto una escoria, unos goterones de plomo y un fragmento de litargirio que estaba colocado entre las piedras de la plataforma rectangular que constituía la parte inferior

del horno. Esta plataforma a su vez presentaba en su zona externa un bloque de arenisca labrado en el cual se había excavado un conducto inclinado que los excavadores han relacionado con su posible uso para recoger el caldo metálico. La longitud global del eje de este horno alcanza los 5,40 m (González Prats 1997), un tamaño muy significativo que hasta la fecha no tiene paralelos en estructuras pirometalúrgicas contemporáneas.

En el **Corte 7**, que se encuentra adyacente al lado occidental del Corte 8, se detectaron los restos de una vivienda utilizada para operaciones metalúrgicas (Fig. 2.12). Por debajo del nivel de asiento de la muralla, es decir en los niveles anteriores a la fase IV de La Fonteta, apareció un murete, perpendicular (en sentido E-W) a los anteriores excavados en el mismo corte, que dividía en dos partes el espacio delimitado por la vivienda superior. Mientras la zona meridional de este ambiente –que coincidía con la vertical del paramento de la muralla– no parecía haber sido utilizada para operaciones metalúrgicas, el área más al norte deparó abundantes evidencias de producción de metales (González Prats 1997).



Fig. 2.12. Corte 7. Estructuras metalúrgicas de la fase II (según González Prats 1999-2000).

En toda la vivienda, por encima del este muro transversal, se identificó un espeso estrato (B11) muy homogéneo y compuesto principalmente por restos de adobe. En este estrato, correspondiente a la fase III, se recogieron varios fragmentos de toberas prismáticas, restos de fundición, escorias, goterones de plomo y varios elementos metálicos tanto de base cobre como de hierro, entre los que destacan tres posibles ponderales de hierro y uno de plomo.

En la estancia más septentrional, este nivel compacto de barro recubría una serie de cuatro suelos arqueológicos (B12a-d), adscritos a las fases III-II, en los que se identificó una docena de pequeñas concavidades irregularmente circulares y de escasa profundidad que, en la mayoría de los casos, habían sido excavadas en un banco realizado con adobes cuadrangulares y configurado en forma de L. Debido a la exposición a una fuente de calor, el barro del banco apareció semicocido y uno de estas concavidades, al haber estado labrada entre dos adobes y conservando todavía la línea de junta, permitió determinar que los pocillos fueron excavados cuando el barro estaba todavía blando. Varios rehundimientos fueron identificados también en el suelo de la estancia y, en general, presentaban revestimientos de arcilla con una fuerte alteración térmica. En su interior se encontraron abundante ceniza junto a escorias y a varios restos de fundición; también la zona alrededor de estas fosas deparó numerosas evidencias de producción de metales tanto de base cobre como de hierro (González Prats 1998a: 200-201; González Prats 2011d: 33). Según los excavadores, se trataba de receptáculos para el caldo metálico, cuyo resultado sería la producción de unos lingotes en forma de finas tortas circulares, es decir del tipo plano-convexo. Pero, de acuerdo con la presencia aunque minoritaria de residuos siderúrgicos dentro de algunos de los hoyos excavados, en este ambiente se llevaron a cabo también operaciones para la transformación de hierro. De hecho, en la zona central de esta estancia se identificó una cubeta, de mayores dimensiones con respecto a los pocillos, en cuyo interior se halló una acumulación de virutas y glóbulos férricos que corresponden a los subproductos de la forja del hierro, que se forman concretamente durante las operaciones de calentamiento y martilleo.

También hay que destacar la presencia de varios fragmentos de vasijas de grandes dimensiones —en concreto, restos de ánforas a torno A1 de hombro carenado y un *pitthos* de cerámica a mano— que se encontraron aplastadas junto al banco de adobe y que podrían haberse empleado, como ya se ha sugerido para el ánfora A1 hallada en el Corte 5N, como recipientes para contener el agua necesaria al temple del metal trabajado en

esta dependencia. Asimismo, se encontró apoyado contra el banco oriental de adobe un pequeño bloque labrado de arenisca cuyas medidas y aspecto eran similares a los de otros moldes documentados en el yacimiento, aunque en este nunca se llegó a realizar ninguna incisión para dibujar la impronta del objeto a fundir (González Prats 1997).

Los hallazgos metalúrgicos asociados a la serie de suelos arqueológicos (B12a-c) y fechados en la fase III incluyen fragmentos de vasijas metalúrgicas, toberas (todas del tipo prismático), moldes líticos, escorias y restos de fundición. También en la base de estos estratos, en la zona de contacto entre B12d y C (fase II), se recogieron materiales similares a los cuales hay que añadir algún nódulo de galena y goterones de plomo. Toda esta zona de suelos con pocillos fue compactada y rellenada para crear el lecho de asiento sobre el que fue construida la muralla de La Fonteta IV (González Prats 1997).

En el Corte 7, por debajo de la serie de estratos B12, se encontraron nuevas evidencias de estructuras empleadas en tareas metalúrgicas y pertenecientes a la fase arcaica (fase II). Se excavó la continuación del muro aparecido en el ambiente al W de esta área y se halló un murete perpendicular, conformando una habitación de dos estancias (véase el plano general del área de excavación en la Fig. 2.5).

La estancia más occidental mostraba una pavimentación constituida por piedras planas, grandes cantos y guijarros dispuestos de manera que quedara libre la esquina oriental, en la que se encontraron dos grandes machacadores líticos (González Prats 2011d: 35, fig. 13). En la otra estancia se documentó solamente un fino lecho de ceniza (B14) en el que se hallaron algunos restos de fundición y dos posibles ponderales de hierro. Aquí se encontró también un fragmento de tinaja E13 con decoración bícroma que resultó pertenecer a la misma vasija del fragmento encontrado en la estancia con el banco de adobe y los pocillos, sugiriendo que todos estos estratos podrían corresponder a capas de vertido utilizadas para rellenar estos ambientes. En efecto, también en esta zona del corte se pudo observar como se procedió a la rápida amortización de los espacios dedicados a las tareas metalúrgicas para proceder a la erección de la muralla (González Prats 1997).

Por tanto, de acuerdo con las evidencias arqueológicas recogidas, los excavadores han interpretado la habitación con el banco de adobe y los pocillos como un taller de fundición, o más bien un taller metalúrgico (Fig. 2.13) –que llaman forja o herrería– mientras el espacio con el suelo empedrado, en el que se encontraron los dos

machacadores, podría haber estado dedicado al triturado de minerales (González Prats 2011d: 34).



Fig. 2.13. Corte 7. Detalle del taller metalúrgico de la fase II (según González Prats 1999-2000).

Las fases más recientes en el Corte 7 estaban representadas únicamente por gruesos niveles de vertidos formados durante las últimas fases de ocupación de La Fonteta y que constituían la continuación de los depósitos documentados en el cercano Corte 8. En esta serie de estratos (B1-B7), fechados en la fase VI, se recogieron abundantes materiales cerámicos, restos faunísticos y varios elementos metálicos (González Prats y Ruiz Segura 1999: 355), mientras las evidencias metalúrgicas son muy escasas ya que se encontraron solamente un fragmento de molde, uno de litargirio y un resto de fundición de base cobre.

Asimismo, en los niveles debajo de la capa de arena dunar (estratos A1-A5), se recogieron un fragmento de vasija metalúrgica y un nódulo de galena adscritos genéricamente a las fases VI-IX del yacimiento ya que su cronología no ha podido ser establecida con seguridad.

La zona adyacente al paramento externo de la muralla también proporcionó importantes evidencias de actividades metalúrgicas, con un registro muy amplio y variado de residuos vinculados con estas operaciones. Empezando de nuevo por la zona noroccidental de la excavación, nos encontramos con los **Cortes 54 y 1** en los que se excavó un potente depósito de vertidos correspondiente principalmente a la fase II del yacimiento (Fig. 2.14) y que proporcionó una cantidad sorprendente de restos relacionados con la obtención de metales, con un total de más de 800 hallazgos de materiales metalúrgicos de distinto tipo. De hecho, el Corte 1 constituye la continuación hacia el noreste del Corte 54 y, habiéndose documentado la misma secuencia estratigráfica en los dos sectores, para mayor simplicidad, aquí los consideraremos como un único corte que pasaremos a denominar **Corte 54-1**.



Fig. 2.14. Corte 54. Antemural de adobes con depósitos de vertidos metalúrgicos por debajo del nivel de asiento de la muralla. Foto A. González Prats.

Por debajo de los niveles de asiento y de regularización de la muralla, se detectó un estrato (A4b) correspondiente a la fase III de La Fonteta y caracterizado por varios restos de adobe, en el que se recogió escaso material metalúrgico. Sin embargo, por debajo de este nivel apareció el vertedero metalúrgico de la fase II que proporcionó un ingente registro de materiales relacionados con la obtención y el trabajo tanto de metales no ferrosos como ferrosos.

Dentro de la escombrera se pudieron diferenciar dos fases de colmatación: una más antigua (fases I-II), caracterizada por una serie de estratos cenizosos que se habían formado por la amortización de varios hornos metalúrgicos (serie estratigráfica B3a-B11), y una fase posterior (fase II), más homogénea, que cubría este paquete y correspondía a una serie de vertidos en los que no se identificaron restos de estructuras de combustión (serie estratigráfica B1-B3-B5b) aunque sí proporcionó abundantes evidencias de producción de metales (Fig. 2.15).



Fig. 2.15. Corte 54. Detalle de los depósitos de vertidos metalúrgicos. Foto A. González Prats.

De hecho, en este depósito más reciente (B1-B3-B5b), que iba cobrando espesor de sur a norte, se recogió un tercio del total de los hallazgos metalúrgicos realizados en este Corte 54-1, entre los que destacan por cantidad los fragmentos de vasijas de uso metalúrgico, las toberas tanto de tipo cilíndrico como prismático, las escorias y los restos de fundición. También están bien representados los residuos de la metalurgia del plomo y de plomo-plata.

En el depósito más antiguo, los niveles de vertidos se entrecruzaban formando una estratigrafía muy compleja en la que se identificaron varios restos de estructuras de combustión, y se excavó una completa en el estrato de base (B11) que apoyaba en la roca de la antigua línea de playa (Fig. 2.16).



Fig. 2.16. Corte 54. Horno metalúrgico de la fase I sobre el depósito de arena de la antigua playa (según González Prats 2011d: 70, fig. 39).

Se hallaron alrededor de una veintena de restos pertenecientes a hornos de pequeño tamaño, constituidos por simples fosas excavadas en el terreno arcilloso y construidas en la mayoría de los casos una al lado de la otra, a veces superponiéndose. Se trata de estructuras muy sencillas, con un diámetro que generalmente no llegaba a superar los 50 cm, en cuyo interior y a su alrededor se observaban abundantes restos de carbón, ceniza y distintos tipos de residuos metalúrgicos, principalmente escorias,

fragmentos de toberas, de vasijas metalúrgicas y restos de fundición. Asimismo, la presencia en estos estratos de posibles restos de paredes y/o revestimientos de horno sugiere que se trataba de estructuras pirometalúrgicas de tipo cerrado, con una cubierta hecha de barro y adobe. En este sentido apunta también la estructura de combustión (Horno 3) excavada en el Corte 8 cuya cubeta todavía presentaba los restos de la pared cilíndrica que tuvo que constituir su cobertura.

Esta serie de estratos de textura y color ceniciento descansaba a su vez sobre el nivel de playa (B4 y B13), caracterizado por arena y gravilla mezcladas con pequeños cantos, en el que se recogió un número muy abundante de hallazgos arqueometalúrgicos indicando que la plataforma rocosa de la antigua línea de costa también fue empleada para llevar a cabo operaciones metalúrgicas y se aprovechó como escombrera (González Prats y Ruiz Segura 2000; González Prats 2001; González Prats 2011d: 73, fig. 42).

Debido a su riqueza arqueológica, se procedió al cribado sistemático, con 10 cribas de malla fina, de todos los estratos removidos en este corte y se recogieron también algunas muestras de tierra para su flotación. Este método permitió recuperar – aparte de abundantes restos metálicos, cuentas, otros pequeños adornos y fragmentos de láminas de oro– cantidades significativas de subproductos de la forja y de la fabricación de objetos de hierro, como laminillas y globulitos férricos. La presencia de estos residuos en ambas bolsas, tanto la más antigua como la de la fase II, indica que algunas de las estructuras de combustión excavadas fueron empleadas como fraguas. Por tanto, esta zona –amortizada para la construcción de la muralla y del antemural– no sólo fue utilizada como escombrera sino que constituyó también un área industrial en la que se realizaron tanto operaciones para la obtención de metal (cobre y sus aleaciones, plomo, plata y hierro) como para la elaboración de objetos. Sin embargo, dada su naturaleza de “zona metalúrgica”, sorprende que fueran tan abundantes los hallazgos de cerámica de distinta procedencia, los útiles y los elementos de adorno no solamente metálicos sino también de hueso y marfil, las cuentas de collar de fayenza, los huevos de avestruz decorados y otros bienes de prestigio, destacando entre estos materiales la presencia de tres ponderales, uno de bronce y otros dos de plomo (González Prats y Ruiz Segura 2000).

Con respecto a la fase reciente, sólo se recogieron unos pocos restos metalúrgicos que incluyen escorias, restos de fundición, algún fragmento de molde lítico y residuos de la metalurgia de plomo y de plomo-plata (goterones de plomo, litargirio y copelas). Estos materiales se hallaron en la capa de asiento de la muralla (A4), fechada en la fase

IV, y en una serie de estratos (A2a-e y A3a-e) que se habían formado contra el antemural de adobe y cuya cronología todavía no ha sido establecida con precisión (fases IV-IX).

En el **Corte 14**, adyacente al Corte 7 y situado en la zona externa al recinto amurallado, también se han recogido numerosos materiales metalúrgicos de la fase arcaica.

En los estratos situados por debajo del asiento de la muralla fueron hallados los restos de una vivienda de la fase III que fue amortizada para construir la muralla; los niveles de uso de esta estructura (B8b y B9a) proporcionaron un amplio conjunto de residuos vinculados con la producción de cobre, bronce, plomo y hierro. En particular se recogieron varias vasijas metalúrgicas, toberas cilíndricas y prismáticas, posibles fragmentos de revestimientos y/o paredes de horno, escorias, restos de fundición, goterones de plomo y un fragmento de molino en piedra volcánica, con un total de más de 70 elementos.

En relación con el estrato B9a apareció también otro muro cuyos niveles de uso (B9b-d) depararon nuevas muestras de actividades metalúrgicas, entre las que destacan algunos fragmentos de mineral de hierro, un fragmento de molino similar al del estrato anterior, tres moldes líticos y algunos residuos de forja de hierro (laminillas y glóbulos férricos).

Pero ha sido el nivel denominado B10, situado por debajo de la serie estratigráfica B8-B9 y perteneciente a la fase II, el que ha proporcionado el mayor número de hallazgos. En este estrato, de color marrón-ceniciento, se identificaron varios hoyos de forma irregularmente circular y de pequeño tamaño, con unos 15-20 cm de diámetro de media, que estaban rellenos de la arena gruesa que suele caracterizar la línea de costa, tal y como se pudo comprobar en el Corte 54-1. También se excavaron dos pequeños pocillos superpuestos que presentaban signos de afectación térmica y que se ha supuesto podían haber sido utilizados como estructuras de combustión (González Prats 2011d: 80-82, figs. 47 y 49). El estrato siguiente (B11) seguía presentando numerosos hoyos circulares que, aparte de estar rellenos por grava de playa, también presentaban ceniza, restos cerámicos y en algún caso materiales metalúrgicos. En total se identificaron unos cuarenta pocillos que a veces estaban intercomunicados por estrechos canales, pero esta zona no fue excavada enteramente ya que la excavación del foso, utilizado como

protección adicional de la muralla, conllevó la amortización de los restos de la fase arcaica (Fig. 2.17).

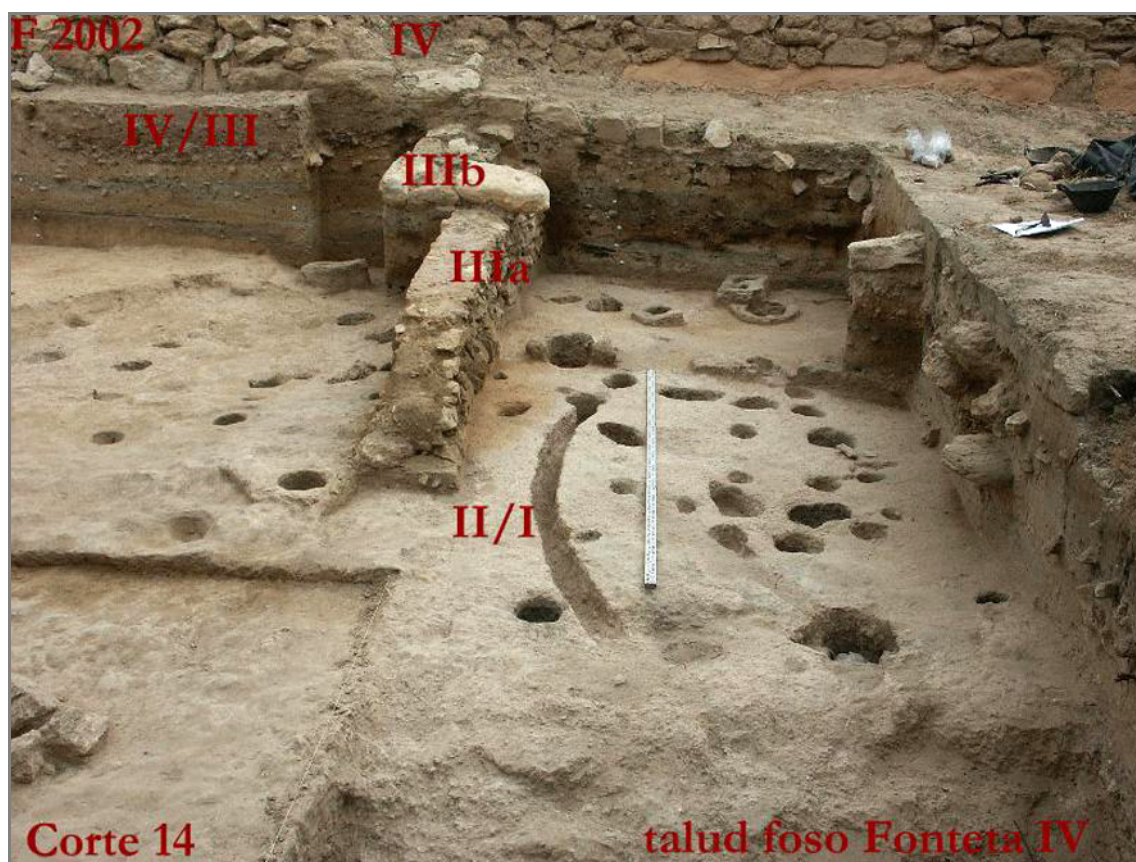


Fig. 2.17. Corte 14. Vista general de la zona con fosas y canales de la fase II-I con series estratigráficas posteriores (según González Prats 2011d: 80, fig. 47).

La función de los hoyos y de los canales sigue siendo incierta ya que la mayoría de ellos no parece haber estado afectado por la acción del fuego, lo que excluye su uso en operaciones pirometalúrgicas. Su forma a menudo irregular y en algunos casos su gran tamaño no parecen indicar que pudiera tratarse de hoyos de poste mientras que la cercanía de la antigua línea de costa –aflorada en el Corte 54-1, situado al NE del Corte 14– podría sugerir que correspondan a los restos de un embarcadero (González Prats 2007: 77).

Con respecto a FR, este corte apenas deparó hallazgos metalúrgicos. Solamente en el nivel sobre el que apoyaba el refuerzo en talud de la muralla (B8a), fechado en la fase IV del yacimiento, se recogieron algunos restos de fundición de base cobre y fragmentos de hierro oxidado (González Prats 1997).

El **Corte 25** está situado en la zona externa a la muralla, en una vaguada próxima al tramo meridional del perímetro defensivo en la que, debajo de una espesa capa de arena, se excavó una secuencia estratigráfica formada por tres depósitos distintos (A, B y C). En el de la fase más reciente (A) no se detectaron restos arquitectónicos pero, debido a que esta zona fue utilizada como basurero en la fase VI, se pudo recoger un significativo y variado repertorio cerámico y algunos materiales metalúrgicos, principalmente escorias, ocre, dos fragmentos de molde y residuos de fundición.

La fase B, adscrita a FA, estaba caracterizada por los restos de una vivienda de grandes dimensiones hecha con paredes de tapial, en la que se encontró escaso material arqueológico. En los estratos que se formaron dentro de las dependencias de esta vivienda, fechados en la fase II, se halló algún residuo de la producción de metales: escorias de base cobre y de hierro, dos fragmentos de moldes y uno de tobera prismática y restos de fundición. La fase más antigua (fase C) estaba representada solamente por un nivel de sedimentos en el que se identificaron las huellas de estructuras pederas (hoyos de poste, etc.). Este depósito arcaico apenas proporcionó material arqueológico y ninguno de los hallazgos estaba relacionado con la producción de metales (González Prats *et al.* 1997: 9-11).

Por último, hay que hacer mención al **Corte 65**, situado en la zona occidental del yacimiento, cuya excavación se llevó a cabo con el fin de obtener más información sobre el trazado y las técnicas constructivas del sistema defensivo de la fase IV de La Fonteta. Se descubrió así un nuevo tramo de muralla de unos 24 m de longitud y en la parte externa del recinto amurallado se desenterró también un refuerzo en talud –un elemento constructivo ya documentado en otras zonas del yacimiento La Fonteta–, así como un bastión cuadrangular que estaba dispuesto transversalmente al flanco de la muralla. Debajo de la capa de arena dunar, apareció un depósito formado por estratos de relleno en los que se recogió escaso material arqueológico, destacando sólo la presencia de unos pocos objetos metálicos, un fragmento de litargirio y restos de fundición de base cobre. Este depósito pertenece a los momentos más recientes de ocupación del yacimiento (fase VI), aunque su cronología no es del todo fiable debido a que algunos de los estratos estaban revueltos. Mediante un sondeo realizado en la capa sobre la que se asentaba la muralla en su fachada externa, se documentó una secuencia estratigráfica con materiales correspondientes a FA (fases I-III) pero la excavación en esta zona no llegó a completarse (González Prats 2011d: 83-86).

Resumiendo, el conjunto de los hallazgos arqueometalúrgicos efectuados a lo largo de las campañas en La Fonteta –que se analizarán detalladamente en esta Tesis– documenta que se estaban llevando a cabo actividades metalúrgicas de producción de metales de base cobre (cobre-plomo, bronce binarios y ternarios), de plomo y plata, así como de producción y forja de hierro.

Entre los materiales recogidos, destaca por cantidad y variedad el registro de los elementos cerámicos empleados en las operaciones para la producción de metales. De hecho, el número de fragmentos de vasijas de uso metalúrgico supera los 200 e incluye abundantes restos de bordes que nos documentan la variedad de la morfología de estos recipientes que podían presentar tamaños y grosores de paredes muy distintos. También es muy relevante la cantidad de toberas encontradas, que rebasa los 400 fragmentos y que ha permitido definir cuatro tipos fundamentales: cilíndrico, corniforme, de sección en forma de D y prismático (Renzi 2007).

Con respecto al material escoriáceo, se han recogido alrededor de 100 kg de escorias de tipología y morfología variada. Los elementos metálicos también están bien representados, habiéndose hallado tanto restos de fundición y masas metálicas en bruto como algún fragmento de lingote y un abundante conjunto de objetos acabados, en general en estado fragmentado. Asimismo, se ha encontrado un número significativo de moldes, aproximadamente unos 60 fragmentos fabricados en piedra arenisca y unos pocos ejemplares fabricados en arcilla. Solamente algunos de los moldes líticos nos han permitido reconstruir los objetos fundidos que, en la mayoría de los casos, corresponden a unas finas láminas de metal conocidas como lingotes-hacha (Simón 1998; González Prats 1985; Renzi 2010), y en otros pocos casos a la fundición de cinceles planos o escoplos (González Prats 2011d).

Los datos actualmente disponibles sugieren que durante toda la secuencia de ocupación de La Fonteta se llevaron a cabo actividades metalúrgicas, aunque la mayoría de las evidencias se enmarca dentro de la fase arcaica del yacimiento. Del momento central de La Fonteta Reciente apenas disponemos de estructuras y espacios vinculados con la metalurgia, aunque la continuación de estas operaciones para la producción de metales está confirmada por varios materiales recogidos en los estratos de vertidos que fueron rellenando algunos ambientes, como ocurrió por ejemplo en los Cortes 5, 7, 8 y 25. Restos de estructuras pirometalúrgicas vuelven a registrarse solamente en las últimas fases de vida del yacimiento, en concreto en el Corte 8 fue excavado un horno

perteneciente a la fase VII, documentando que se siguió produciendo metales hasta poco antes del definitivo abandono del poblado.

La especial concentración de evidencias metalúrgicas de FA en los Cortes 5N, 5, 8, 7, 14, 54 y 1 sugiere que durante la fase arcaica esta parte del yacimiento podría haber constituido un “barrio” dedicado a tareas metalúrgicas. Sin embargo, en esta zona industrial no se ha documentado una clara especialización de los espacios, es decir su uso para un tipo concreto de metalurgia o de proceso metalúrgico, aunque sí parecen haberse utilizado determinados ambientes preferiblemente para la producción de metales de base cobre y de plomo –como podría ser el caso de los Cortes 5N, 5, 7 y 8– mientras en otras áreas, en concreto en los Cortes 14, 54 y 1, se realizaron sobre todo operaciones siderúrgicas, aunque residuos de una metalurgia no-ferrosa han sido documentados en todos los cortes.

2.3 LA ARTICULACIÓN TERRITORIAL DE LA FONTETA: EL CASTILLO DE GUARDAMAR Y EL CABEZO PEQUEÑO DEL ESTAÑO

La ventajosa posición geoestratégica de La Fonteta –situada en la costa y junto a la desembocadura del río Segura– garantizaba un buen abastecimiento de materias primas y permitía establecer relaciones comerciales tanto con el *hinterland* como con otros asentamientos costeros. Este emplazamiento permitía también controlar las rutas marítimas y fluviales proporcionando un fácil acceso a los recursos de la Vega del Bajo Segura en la que hay presencia de minerales, en particular los de cobre, el oro nativo de la Sierra de Orihuela y los depósitos de hierro de la Sierra Escalona.

Para este fin, el yacimiento de La Fonteta contaba con una articulación territorial que, en un radio de unos 2 km a su alrededor, preveía la existencia de un santuario en una zona en la cual actualmente surge el Castillo de Guardamar, y de una fortificación en el interior, el Cabezo Pequeño del Estaño, ubicada a escasa distancia de la desembocadura del Segura (Fig. 2.18).

El área arqueológica del **Castillo de Guardamar**, situada a poco más de 1 km de La Fonteta, se instala sobre un cerro de 68 m de altitud que se encuentra al oeste del actual núcleo urbano (Fig. 2.19), e incluye los restos de una ciudadela fortificada de época bajo-medieval y moderna (González Prats y García Menárguez 2000: 1531). Los

primeros sondeos en la zona del Castillo fueron efectuados para sacar a la luz los restos de un templo de época ibérica que se siguió utilizando hasta por lo menos el periodo tardorromano.

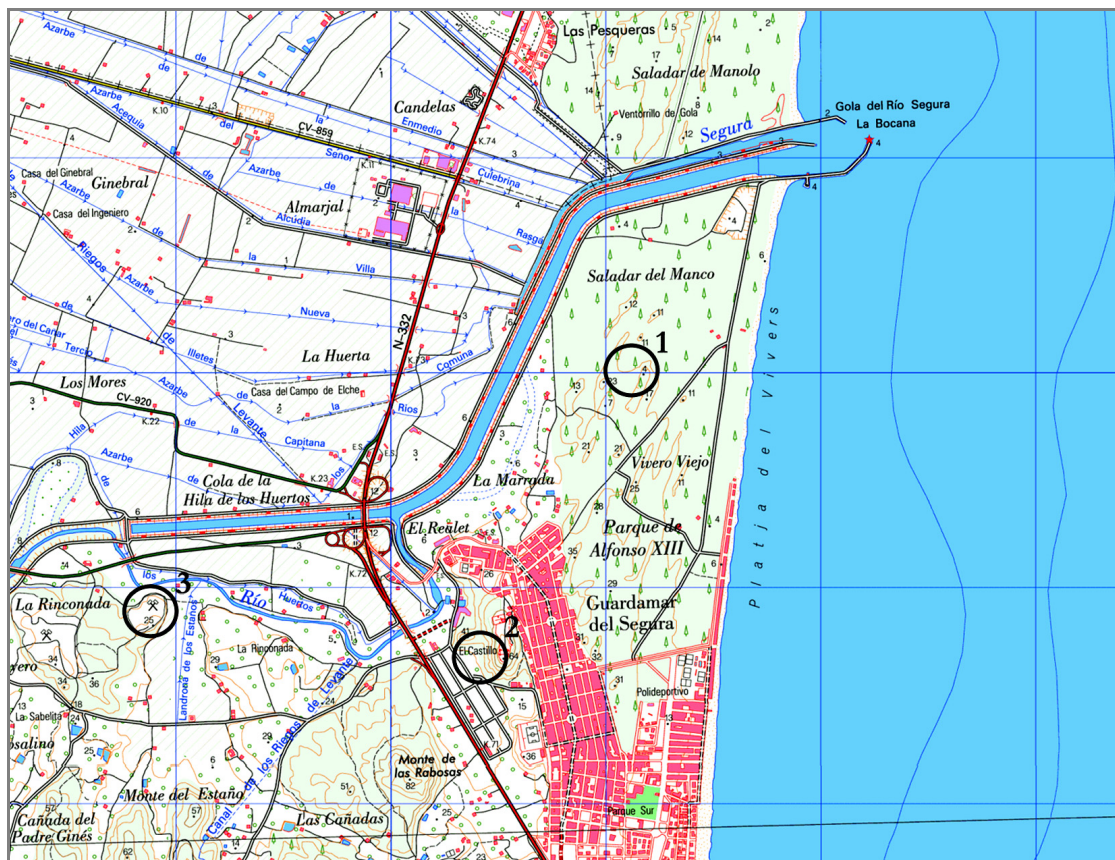


Fig. 2.18. Ubicación del yacimiento de La Fonteta (1), del santuario en el cerro del Castillo de Guardamar del Segura (2) y de la fortificación del Cabezo Pequeño del Estañó (3) (modificado a partir del Mapa Topográfico Nacional 1:25.000, hoja nº 914-2, en formato digital ráster⁴).

A lo largo de las campañas de excavación se pudo documentar una fase de ocupación del Hierro Antiguo que proporcionó un importante lote de fragmentos cerámicos, entre los cuales destacaba un amplio repertorio de filiación fenicia. Aunque no fue posible profundizar en la investigación arqueológica de campo debido a la existencia de la fortificación bajomedieval, este registro material confirmó la existencia de una fase pre-ibérica del templo y permitió asociarla a la presencia fenicia en el área (González Prats y García Menárguez 2000: 1531-1532).

Asimismo, se propuso que este santuario estuviera dedicado a Astarté (González Prats *et al.* 1997: 12), una divinidad cuyo culto estaría relacionado con la protección de

⁴ Centro Nacional de Información Geográfica. Centro de descargas. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

la navegación, por tanto, su presencia protegería también las relaciones comerciales, tanto por vía marítima como por vía fluvial.



Fig. 2.19. Vista general del Castillo de Guardamar del Segura (según González Prats y García Menárguez 1998: 42, fig. 26).

Además, el cerro sobre el que está instalado el Castillo presenta buenas defensas naturales en todos sus lados, a excepción del lado septentrional cuya pendiente alcanza el curso del río formando una ensenada interna que podría haber constituido un perfecto embarcadero fluvial. El santuario estaba situado pues en una zona estratégica que disponía de una buena visibilidad de toda la Vega Baja del Segura y también de una amplia zona de costa, desempeñando una importante función de control y protección de la navegación marítima y fluvial (González Prats y García Menárguez 2000: 1531-1532).

La construcción de santuarios de tradición oriental vinculados a la navegación y dedicados a la diosa Astarté ya ha sido documentada en la Península Ibérica. Por ejemplo, como se ha visto en el capítulo anterior, la construcción del santuario de El

Carambolo (Camas, Sevilla) parece estar relacionada con la navegación fluvial en el paleoestuario del Guadalquivir, y posiblemente también con la fundación colonial de la ciudad de *Spal* (Fernández y Rodríguez 2010); asimismo, en el Cerro de la Muela cerca de la ciudad romana de Cástulo (Linares, Jaén)– se excavó un santuario consagrado a Astarté (Blázquez y Valiente 1982) que probablemente fue construido para proteger la navegación en el río Guadalimar, un afluente del Guadalquivir.

A este propósito hay que mencionar la significativa presencia en ambos lugares de culto de ambientes dedicados a actividades metalúrgicas, una asociación que ha sido documentada también en varios espacios religiosos del Mediterráneo oriental, como por ejemplo en Chipre donde los santuarios de Kition y de Tamassos, también dedicados a Astarté, han proporcionado abundantes residuos de la producción de metales (García Gelabert y Blázquez 1996). En la Península Ibérica existen otros ejemplos de la asociación de ambientes de culto con actividades metalúrgicas, como por ejemplo en la provincia de Málaga –el “Edificio 2” del Cerro del Villar (Delgado Hervás 2008) y unas estructuras de las calles Císter y San Agustín en *Malaka* (Arancibia y Escalante 2006)– o en la Plaza del Marqués de Saltillo de Carmona (Sevilla) (Belén *et al.* 2000), entre otros.

Resulta pues tentador suponer que la situación en el santuario de Astarté en Guardamar fuera similar. La importancia para el yacimiento de La Fonteta de la navegación así como de las relaciones comerciales y de la producción de metales son elementos a favor de esta hipótesis aunque, desafortunadamente, no hay evidencias que permitan contrastarla.

Aparte del santuario situado en la zona del Castillo de Guardamar, la construcción de una imponente fortificación en el **Cabezo Pequeño del Estaño** (Fig. 2.20), también tuvo que estar directamente relacionada con La Fonteta. Este topónimo es un error de la traducción al castellano de la palabra catalana “estany” que significa “marisma, laguna” y que hacía referencia a la zona alrededor del estuario del Segura en la que se situaba este cabezo (González Prats 1990: 6). Se trata de una pequeña colina de forma alargada, ubicada al este de Guardamar y a 2 km aproximadamente de la desembocadura del Segura en su margen derecha.

En 1989 se llevaron a cabo excavaciones de urgencia en esta fortificación debidas a unas obras ilegales efectuadas para la apertura de una cantera y que dañaron irreparablemente la zona. Sin embargo, a pesar de estos daños, el registro material

hallado durante las investigaciones era suficientemente representativo para establecer una secuencia estratigráfica y definir dos grandes periodos de ocupación del yacimiento: uno de la Edad del Hierro y otro de época romana.



Fig. 2.20. Vista general de la fortificación del Cabezo Pequeño del Estañó (según González Prats y García Menárguez 1998: 38, fig. 24).

Este asentamiento, que ocupa un cerro de escasa altitud (26 m sobre el nivel del mar), tiene estructura triangular y forma una especie de espolón sobre el curso fluvial del Segura, en una zona conocida como la Cañada de los Estaños. Desde aquí se veía claramente casi toda la extensa marisma originariamente formada por los tramos finales del Bajo Segura y del Bajo Vinalopó. Por su posición, este poblado podía además controlar la desembocadura del Segura que constituía un camino fluvial obligado para los que querían alcanzar el *hinterland* de la Vega desde la costa (García Menárguez 1995: 270-272).

Al estar situado en una zona poco elevada y de fácil acceso, desde los comienzos de su frecuentación –que está fechada dentro del siglo VIII y perdura hasta todo el siglo VII-comienzos del VI a.C.– el poblado fue dotado de un sistema defensivo que lo rodeaba por tres lados, dejando al descubierto el flanco septentrional en el cual el lecho fluvial servía de zanja natural.

El sistema empleado para su construcción es parecido al que fue empleado para la muralla de La Fonteta, con un cuerpo central vertical de unos 5 m de anchura en su parte superior, un refuerzo formado por un paramento ligeramente oblicuo en la parte externa y amplios contrafuertes en su lado interno. Además, la muralla presentaba un bastión de forma irregularmente cuadrangular en la zona occidental, y en cambio en los tramos meridionales y occidentales del recinto fue documentada una serie de muros

perpendiculares que formaban casamatas entre los muros del paramento interno (González Prats y García Menárguez 2000: 1529-1530).

Por lo que concierne a la cultura material, hay que destacar la escasa presencia de hallazgos realizados durante las investigaciones en el Cabezo, probablemente debido tanto al mal estado de conservación de la zona arqueológica como al abandono gradual y pacífico del yacimiento. No obstante, ha sido posible documentar que, ya en los primeros momentos de ocupación del sitio, la cerámica a torno fenicia convivía con la cerámica a mano indígena y que se estaban llevando a cabo actividades metalúrgicas en un amplio espacio presente entre los muros de la fortificación concreto, se encontraron una torta de plomo seccionada, una tobera cilíndrica con algunas perforaciones parciales en su superficie externa y un hallazgo indeterminado constituido por un disco cerámico que también presentaba perforaciones similares en su exterior e incrustaciones metálicas (González Prats y García Menárguez 1998: 35-36; González Prats y García Menárguez 2000: 1529-1531).



Fig. 2.21. Ubicación del posible puerto de La Rinconada en relación con La Fonteta (1), el santuario (2) y la fortificación (3) (imagen Google Earth).

La presencia de estos residuos dentro de una fortificación parece avalar que tuvo que existir una estrecha relación –y probablemente una dependencia directa– entre este yacimiento y La Fonteta. De hecho, la importancia de la fortificación del Cabezo tuvo que residir en su posición estratégica que aseguraba tanto una defensa para el emporio comercial como una función de claro control de las rutas, permitiendo dominar visualmente todo el curso del río Segura y posiblemente protegiendo también un posible puerto fluvial que pudo estar situado en la margen derecha del río, en la zona conocida como la Rinconada (González Prats 1999: 6) (Fig. 2.21). Esta fortificación protegía además los caminos montañosos que comunicaban la zona costera con el *hinterland* alto-andaluz, sin excluir que contribuyera también al control de las rutas que llevarían desde los ricos distritos mineros almeriense y murciano hasta la costa.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, La Fonteta ha deparado un amplio y variado registro de materiales relacionados con la producción de metales, que ha permitido documentar la existencia de un taller metalúrgico cuya actividad empezó ya en los primeros momentos de frecuentación del yacimiento y perduró durante toda su secuencia ocupacional.

Con este trabajo se pretende presentar un estudio tecnológico y analítico de los restos arqueometalúrgicos encontrados en La Fonteta. Para este fin, se ha examinado todo el material disponible recogido a lo largo de las campañas de excavación en el yacimiento, procediendo a su inventario, separación y clasificación, de acuerdo con las categorías de residuos metalúrgicos documentadas.

El número de inventario de cada pieza corresponde a una sigla constituida por la letra F- (que hace referencia a “Fonteta”) seguida por una serie de números progresivos distintos para cada campaña de excavación: los números de los materiales encontrados en la primera campaña están comprendidos entre F-1 y F-9999; los de la campaña de 1997 entre F-10.000 y F-19.999, etc., hasta llegar a F-60.000 y ss. de la última excavación en el año 2002.

Los materiales relacionados con la actividad metalúrgica han sido clasificados según las siguientes categorías:

- Minerales (galena y minerales férricos);
- Escorias (de base cobre y de hierro);
- Residuos de copelación (litargirio y copelas);
- Masas metálicas y restos de fundición (de base cobre y de plomo);
- Residuos de la forja del hierro (laminillas y glóbulos);
- Vasijas de uso metalúrgico;
- Toberas;
- Moldes;
- Objetos de metal (de base cobre, de plomo y de hierro).

Debido a la abundancia del conjunto de residuos de la producción de metal de La Fonteta, se ha efectuado una selección de los materiales considerados más relevantes para su estudio analítico y tecnológico. Por tanto, para cada una de las categorías arriba mencionadas, se han escogido las piezas más representativas, las que estaban mejor conservadas y las que presentaban alguna característica peculiar, para que el conjunto de materiales estudiados pudiera proporcionar una visión lo más global posible de la metalurgia del yacimiento.

Tras efectuar la selección, se ha procedido a la limpieza mecánica de las piezas, a su estudio morfométrico (descripción, dimensiones y peso), toma de foto y a su dibujo, para los ejemplares que así lo requerían. En el caso de las escorias, se han comprobado también sus eventuales propiedades ferromagnéticas. Sin embargo, debido a que el simple examen visual no permite clasificar correctamente esta clase de materiales, para identificar su naturaleza y determinar el tipo de metalurgia con el que podían relacionarse, se ha realizado un estudio analítico mediante la aplicación de distintas técnicas de laboratorio escogidas en función de la información que se quería extrapolar.

En la mayoría de los casos, se ha procedido al estudio de la composición química y de las fases estructurales de las muestras seleccionadas; la información así obtenida ha proporcionado los datos necesarios para determinar las posibles fuentes de abastecimiento de los minerales, identificar los procesos empleados para la obtención del metal, su refinado, preparación de las aleaciones y producción de los objetos acabados.

Los principales métodos analíticos empleados para este estudio han sido la espectrometría por fluorescencia de rayos X, los estudios metalográficos y la microscopía electrónica de barrido. Estas últimas dos técnicas requieren de un mismo proceso de preparación de las muestras que se describirá en un apartado específico. También hay que mencionar la aplicación de análisis de los isótopos del plomo, una técnica que está cobrando cada vez más importancia como herramienta para los estudios de procedencia de los materiales arqueológicos y que también requiere de un complejo proceso de preparación previa del material a estudiar.

Cada una de estas técnicas proporciona un tipo de información diferente y presenta un grado de precisión que depende tanto de las características propias del método como de los límites de detección y de la configuración de los equipos empleados. A continuación veremos sus fundamentos generales, sus posibles campos de

aplicación para los estudios arqueometalúrgicos así como las características básicas de los equipos utilizados para el análisis de las muestras de La Fonteta.

3.2 ESPECTROMETRÍA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF)

Se han llevado a cabo análisis por espectrometría de fluorescencia de rayos X de gran parte de las muestras seleccionadas, obteniendo información global cualitativa y cuantitativa de los elementos presentes en los materiales analizados.

En el caso de los elementos metálicos y de los restos de fundición, esta técnica nos ha permitido determinar, de acuerdo con los límites de detección del equipo utilizado, su composición elemental principal y los elementos minoritarios y las trazas presentes en el metal¹. Por ejemplo, en el caso de las piezas de base cobre, se ha podido distinguir entre los materiales fabricados en cobre sin alear y los que han sido elaborados con sus distintas aleaciones (cobre-plomo, bronce binarios y bronce ternarios), cuantificando sus distintos componentes.

Para los subproductos metalúrgicos de tipo escoriáceo, debido a la heterogeneidad de este tipo de materiales, la XRF nos ha proporcionado sólo una primera aproximación a su composición elemental, pero la información obtenida nos ha permitido identificar la naturaleza y la composición de las muestras bajo estudio y valorar el interés de una investigación analítica más exhaustiva.

Básicamente, en la XRF se utiliza un haz primario de rayos X para irradiar la muestra. Los electrones que se encuentran en el átomo están distribuidos en distintos niveles y subniveles de energía y, como resultado de la absorción de energía del haz primario, un electrón es expulsado de su orbital produciendo un lugar vacante en su capa correspondiente dejando el átomo en estado inestable. En consecuencia, otro electrón de una capa superior va a cubrir esta vacante, produciendo un desprendimiento de energía que es igual a la diferencia de energía de los niveles entre los que se produce el salto electrónico. El exceso energético resultante de esta transición entre orbitales genera la emisión de fotones de rayos X característicos de cada elemento químico que

¹ Se ha considerado como elementos minoritarios todos los que están comprendidos entre <1% - >0,01%, y como elementos traza los que están presentes en cantidades inferiores a 0,01% (<100 ppm), de acuerdo con Montero Ruiz (2000: 13).

compone la muestra irradiada. Esta energía emitida como rayos X se refleja como líneas en un espectro y –conociendo la energía entre los orbitales atómicos implicados, es decir su longitud de onda o energía– permite identificar los elementos presentes. La concentración de cada elemento se detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones.²

El espectro de líneas de los elementos contenidos en la muestra es la base de la identificación y cuantificación química de la muestra. Por tanto, el requisito fundamental de un espectrómetro XRF es que tenga una buena capacidad de distinción e identificación de los picos, además de medir el área de estos picos para poder cuantificar los datos.

Según la notación de Siegbahn, que se basa en la intensidad relativa de las diferentes líneas de emisión de un espectro de rayos X, existen tres series principales de líneas (K, L, M) que dependen de la respuesta a una emisión de rayos X producida por la transición del electrón para cubrir el hueco producido en una de estas tres capas. Dentro de cada serie K, L, M, las distintas líneas se clasifican con letras griegas en función de su mayor o menor intensidad; a su vez, las subdivisiones de estas líneas se denominan con subíndices de números árabes (Martín Gil y Sarabia Herrero 1995: 27-28).

Para la identificación y cuantificación de los espectros, se pueden emplear dos sistemas diferentes que reflejan la dualidad de onda-partícula de la radiación electromagnética: la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (ED-XRF o EDAX) y la fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda (WD-XRF).

En el EDS (*Energy Dispersive System*), los rayos X secundarios emitidos por el átomo excitado se consideran como una partícula (un fotón de rayos X), cuya energía es característica del átomo del que procede; un detector mide la energía del fotón y cuantifica el número de fotones de energía conocida. Los dispositivos de detección más comúnmente usados constan de un cristal de silicio, u otro material semiconductor, dopado con litio –detector de Si(Li)– para reducir al mínimo las impurezas del cristal. Este cristal se mantiene refrigerado con nitrógeno líquido para evitar que el litio se difunda hacia su interior y para reducir el ruido eléctrico en el dispositivo. El detector tiene que ser colocado en un ambiente de vacío para asegurar su limpieza, y suele estar

² http://imaisd.usc.es/riaidt/raiosx/formularios/UNED_Curso_Fluorescencia.pdf

separado del resto del espectrómetro mediante una fina ventana de berilio por la cual entra la señal de rayos X; por tanto, la presencia de esta ventana limita las prestaciones del sistema en la detección de los elementos más ligeros de la tabla periódica, en concreto los que están comprendidos entre el C y el S, excluyendo la posibilidad de analizar, por ejemplo, los materiales orgánicos (Pollard y Heron 1996: 45).

El detector recibe el espectro total emitido por todos los elementos de la muestra a la vez, y para cada fotón de rayos X genera un impulso eléctrico incidente cuya altura es proporcional a la energía del fotón, y estos impulsos eléctricos son separados y almacenados en función de su valor mediante un analizador multicanal, generando el espectro de los elementos detectados.³

Esta técnica tiene la ventaja de ser de tipo no destructivo, ya que no requiere de una preparación previa de los materiales a analizar.

Con respecto a la fluorescencia de dispersión por longitud de onda (WDS, *Wavelength-Dispersive System*), con este sistema la medición de la energía y la detección de los elementos se realiza separadamente. Los rayos X secundarios son considerados como ondas electromagnéticas cuya longitud es característica del átomo de procedencia. Este sistema emplea un dispositivo de dispersión para separar la radiación en sus longitudes de onda componentes, y un sistema separado de detección que registra la intensidad de la radiación como función de la longitud de onda (Pollard y Heron 1996: 45-47).

En ambos sistemas (ED-XRF y WD-XRF) el análisis cuantitativo se realiza de manera análoga, aunque en el EDS se utiliza el área del pico como estimador de la intensidad, mientras en el WDS se usa su altura. Las intensidades se expresan en velocidad de cuentas cps (*counts per second*) que corresponden a los fotones detectados por unidad de tiempo.⁴

En general, la WDS es una técnica más precisa para efectuar análisis cuantitativos, con límites de detección inferiores al ED-XRF, debido a que su alta resolución produce pocos solapamientos espectrales e intensidades de fondo más bajas. Además, es un método más indicado para medir los elementos ligeros pero, para poder obtener buenos resultados, es necesario que la pieza a estudiar tenga una superficie plana o que se puedan preparar pastillas prensadas y, en el caso de los objetos arqueológicos, no

³ http://imaisd.usc.es/riaidt/raiox/formularios/UNED_Curso_Fluorescencia.pdf

⁴ <http://www.institucional.us.es/labrayx/cursofluo/parteixrf.pdf>

siempre es posible su manipulación y preparación. Es por tanto más común en este tipo de estudio el empleo de la técnica de energía dispersiva, que permite conseguir análisis cuantitativos satisfactorios en tiempos más rápidos –en general, la información de un espectro puede ser almacenada en aproximadamente 100 o 200 segundos– sin perder la ventaja del uso de una técnica no destructiva (Yacamán y Ascencio 2000: 410-412).

A este propósito, especialmente por lo que concierne a los análisis de metales, hay que tener presente que el método XRF actúa principalmente a nivel de la superficie de la muestra y tiene una escasa capacidad de penetración. Por tanto, aunque no se llegue a extraer una muestra, a menudo es necesario limpiar adecuadamente el área a analizar para evitar que la eventual presencia de una pátina o de contaminaciones superficiales distorsione el resultado del análisis composicional. De hecho, estas capas de formación secundaria suelen presentar un enriquecimiento en ciertos elementos (como, por ejemplo, estaño, plomo, etc.), pudiendo proporcionar valores que no corresponden a la composición del núcleo metálico original.

Otros parámetros importantes a tener en cuenta a la hora de efectuar análisis espectrométricos, son la sensibilidad y la precisión del equipo. La sensibilidad depende del poder de resolución del detector y se refiere a la capacidad del sistema para detectar la radiación fluorescente correspondiente a un elemento químico, diferenciándola del ruido de fondo del espectro. Esta capacidad para dibujar los picos correspondientes a un elemento en el espectrograma depende de la concentración o cantidad del elemento presente en la muestra, y por debajo de cierto límite no se detecta aunque esté presente.

La precisión de la medida indica hasta qué punto el resultado obtenido se aproxima a la concentración real de dicho elemento y depende, por un lado, de la sensibilidad del equipo y, por otro, de la calidad de los patrones disponibles (recta de calibración). De hecho, utilizando un juego de patrones metálicos certificados y analizados en las mismas condiciones que se aplican al análisis de las muestras, se construyen las rectas de calibración que se almacenan en la memoria del ordenador. Estos materiales de referencia (patrones) presentan una certificación que documenta su composición exacta, permitiendo el análisis de un tipo determinado de metal o aleación. Es importante pues contar con un buen conjunto de patrones para la calibración del equipo, ya que tras realizar la medida, el equipo calcula automáticamente la composición por referencia a las rectas de calibración correspondientes (Montero Ruiz 2000: 14-15).

En el caso de los materiales de La Fonteta, los análisis XRF han sido llevados a cabo por el Dr. I. Montero Ruiz, Investigador científico del Instituto de Historia del CCHS-CSIC, y el Prof. Dr. S. Rovira Llorens, Conservador Jefe del Museo Arqueológico Nacional (MAN) de Madrid, empleando un espectrómetro portátil Metorex X-Met 920MP del laboratorio del MAN, que opera con el sistema de energía dispersiva (ED-XRF). El equipo consta de un cabezal en el que se alojan las fuentes radiactivas y el detector, la unidad de espectrometría y la unidad de control (Fig. 3.1).



Fig. 3.1. Metorex X-Met 920MP del laboratorio del Museo Arqueológico Nacional de Madrid.

El cabezal dispone de una fuente encapsulada de excitación primaria por rayos gamma: Am-241, con una intensidad de 20mCi. El detector de la fluorescencia de rayos X es de tipo Si(Li) de estado sólido y está refrigerado con nitrógeno líquido, con una resolución de 170eV en la línea Mn K-alfa. La unidad de espectrometría es la interfase entre el cabezal de análisis y el ordenador de control. Además de otras funciones electrónicas, este dispositivo contiene un analizador multicanal que efectúa el registro del espectro durante el proceso de medida. La unidad de control es un ordenador convencional cargado con los programas de operación del Metorex X-MET 920.

Este espectrómetro permite la identificación de los elementos químicos presentes en una muestra desde el número atómico 20 (Calcio) en adelante. Así, todos los componentes básicos de las aleaciones metálicas no ferrosas pueden ser identificados (análisis cualitativo) y cuantificados (análisis cuantitativo). Dadas las características del

equipo, se han establecido como límites de detección para los elementos químicos habituales en las aleaciones metálicas no ferrosas los siguientes parámetros:

Fe (K-alfa) <0,01%; Ni (K-alfa) <0,01%; Cu (K-alfa) <0,01%; Zn (K-alfa) <0,1%; As (K-alfa) 0,01%; As (K-beta) <0,1%; Au (L-alfa) 0,1%; Pb (L-beta) <0,01%; Bi (L-beta) <0,01%; Ag (K-alfa) <0,001%; Sn (K-beta) <0,01%; Sb (K-alfa) 0,001%.

En cuanto a la precisión de las medidas, los márgenes de error varían en función de los juegos de patrones disponibles: para los elementos mayoritarios (concentración >1,00%) el error estimado no supera el 5%; para concentraciones entre el 1-0,5% el margen de error es inferior al 20%; los valores entre 0,5-0,1% presentan errores inferiores al 30% y para cantidades inferiores al 0,1% el margen de error puede llegar a ser del 100%.

Por lo que concierne a los tiempos de adquisición de espectros, se ha determinado una rutina de trabajo con análisis de 150 segundos, ya que tiempos superiores no garantizaban una mayor precisión y alargaban el tiempo de trabajo reduciendo, en consecuencia, el número de análisis realizado por sesión.

3.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ESTUDIOS MICROSCÓPICOS

Como ya se ha mencionado anteriormente, el método de preparación de las muestras es el mismo tanto para los estudios metalográficos como para la observación y análisis en el microscopio electrónico de barrido (SEM), e incluye varias etapas. La primera fase consiste en la selección y en la extracción de una porción del material a estudiar que debe ser representativa del conjunto, teniendo en cuenta la forma, la función y el origen de la pieza. Tras extraer la muestra, ésta se monta en una probeta para proceder a su desbaste y pulido con el fin de obtener una superficie perfectamente plana y exenta de rayas.

La extracción de la muestra se suele realizar mediante cortadora automática. Estas máquinas están equipadas con discos especiales de corte por abrasión y suministran un líquido lubrificante, generalmente agua o aceite, que evita el sobrecalentamiento del material seccionado para no alterar sus condiciones microestructurales. Se obtiene así una sección limpia que facilita las siguientes etapas de preparación y además permite

realizar, ya a simple vista, un examen macroscópico de las características de la muestra a estudiar, como la textura, la porosidad, el color, etc.

Una vez realizado el corte, el montaje de la muestra extraída se realiza mediante embutido en caliente o en frío. Para el montaje en caliente, se introduce un polímero (termoendurecible o termoplástico) en una prensa, se somete a una determinada presión y temperatura, y posteriormente se enfría. El montaje en frío se realiza mediante reactivos, generalmente bicomponentes, que fraguan por reacción química entre una resina y un endurecedor, existiendo varios tipos de resinas con diferentes características y propiedades dependiendo del resultado que se quiera obtener.⁵

La siguiente fase de preparación de las probetas prevé su desbaste y pulido mecánico. El desbaste inicial sirve para que la probeta quede plana por ambos lados; se utiliza un papel de lija de grano grueso y es importante desbastar la superficie de la muestra de manera uniforme. Luego, se va disminuyendo progresivamente el tamaño de grano hasta llegar al papel de grano más fino, borrando con cada lija las huellas del desbaste anterior. Después del último desbaste con el papel de lija de grano fino, se pasa al pulido final que permite obtener una superficie completamente exenta de rayas. Éste pulido se realiza utilizando paños especiales colocados en platos giratorios circulares. Sobre estos paños se vierten pequeñas cantidades de partículas abrasivas de diferente granulometría, generalmente constituidas por óxidos de aluminio o pasta de diamante industrial en polvo fino. La selección de los paños y del tamaño de grano del abrasivo depende del material a pulir y del objetivo del estudio.

Tanto la fase de desbaste como el pulido final se suelen realizar mediante una pulidora de discos, a la que se fijan los papeles de lija y los paños adecuados en cada fase de la operación (Rovira Llorens y Gómez Ramos 2003: 39-40).

Por lo que concierne al estudio de las muestras procedentes de La Fonteta, en el caso de los materiales escoriáceos se ha procurado que las muestras extraídas fueran representativas de la heterogeneidad del material, incluyendo todas sus características estructurales así como las eventuales inclusiones metálicas, las tierras adheridas, los restos de carbón, etc. En el caso de los restos de fundición, de las masas metálicas y de los objetos acabados, que en la mayoría de los casos presentaban intensos fenómenos de

⁵ <http://materias.fi.uba.ar/6713/PREPARACION%20METALOGRAFICA.pdf>

oxidación, la selección de la zona a cortar se ha realizado con el objetivo de encontrar porciones de material que todavía conservasen restos del núcleo metálico original, evitando aquellas zonas del todo remineralizadas, es decir oxidadas o con capas de corrosión, ya que no habrían proporcionado información relevante acerca de las técnicas de producción del metal y de los tratamientos térmicos y mecánicos a los que podrían haber sido sometidas las piezas.

Para el montaje de estos materiales, se ha utilizado una resina bicomponente autopolimerizante (metacrilato de metilo) de fraguado rápido, y moldes de caucho elegidos según el tamaño de la muestra a estudiar. Sucesivamente, para su desbaste y pulido se ha utilizado una pulidora automática de la marca PRESI (modelo Mecapol P230) dotada de un brazo (P.E.R.U.) con cabezales de 6 y de 3 probetas (Fig. 3.2). Se ha empleado una velocidad de rotación del disco de la pulidora de 250 rpm para el lijado y de 200 rpm para el pulido.



Fig. 3.2. Pulidora automática PRESI Mecapol P230 con brazo P.E.R.U. y cabezal de 6 probetas. Laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC (Madrid).

Las probetas han sido desbastadas en húmedo empleando papel de lija de carburo de silicio con cinco granos distintos, desde el grano más grueso P100 hasta llegar al tamaño de grano P1200⁶. Para el pulido de la mayoría de los materiales se han empleado paños de fieltro con líquidos abrasivos de alúmina en suspensión (99,98% Al) de 0,8 μ y 0,3 μ , mientras que en el caso de las muestras metálicas, se ha procedido a un acabado final con un paño de gamuza con líquido de alúmina en suspensión de 0,04 μ , hasta conseguir una superficie perfectamente especular.

La preparación de muestras ha sido llevada a cabo en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid.

3.4 LOS ESTUDIOS METALGRÁFICOS

Para la caracterización de los materiales de La Fonteta, se han llevado a cabo estudios metalográficos principalmente de elementos metálicos y restos de fundición, con el fin de observar su microestructura y determinar las condiciones de formación y la tecnología de manufactura de los materiales.

Las metalografías permiten examinar la estructura interna del metal y de las aleaciones, observar sus características y relacionarlas con determinadas propiedades físicas y mecánicas. De hecho, cuando un metal pasa del estado líquido al estado sólido se producen varias transformaciones en su microestructura y, en general, la materia se dispone de manera ordenada formando cristales o agregados de cristales.

En el caso de las aleaciones, los componentes químicos pueden encontrarse, por ejemplo, como soluciones homogéneas, compuestos intermetálicos, mezclas eutécticas, etc.; y las proporciones, las formas y estados de estos componentes influyen en sus propiedades físicas. Además, los distintos tratamientos mecánicos y térmicos a los cuales puede haber estado sometido el material también modifican su estructura cristalina; de modo que la observación de la distribución y de la forma de estos cristales permite conocer las condiciones y las técnicas de fabricación del metal, si se trata por ejemplo de un material fundido, recocido, forjado o laminado (para información más detallada sobre la aplicación de la metalografía a los materiales arqueológicos, véase

⁶ La serie utilizada incluye las lijas de grano P100, P240, P400, P800 y P1200. Estos valores hacen referencia al número de rayas por unidad de longitud (Rovira Llorens y Gómez Ramos 2003: 39).

Rovira Llorens y Gómez Ramos 2003). Por tanto, mediante los estudios metalográficos se pueden evidenciar tanto las características estructurales del metal –el tamaño de grano, la distribución de las fases que componen una aleación y las inclusiones no metálicas– como los eventuales defectos de fabricación de las piezas (grietas, poros de gas, segregados, impurezas e inclusiones de escoria), y todos estos elementos proporcionan información valiosa para el estudio de la tecnología metalúrgica antigua (Montero Ruiz 2000: 23-24).

Para llevar a cabo los ensayos metalográficos se utiliza un microscopio óptico que puede ser de tipo metalográfico o de tipo convencional.

El microscopio metalográfico, debido a la opacidad de los metales y aleaciones, opera con la luz reflejada por el metal. Un haz de luz horizontal es reflejado por medio de un reflector de vidrio plano, hacia arriba a través del objetivo del microscopio sobre la superficie de la muestra. Parte de esta luz incidente reflejada desde la superficie de la muestra se amplifica al pasar a través del sistema inferior de lentes (el objetivo) y continua hacia arriba a través del reflector de vidrio plano, para ser mayormente amplificada por el ocular, es decir por el sistema superior de lentes. Por tanto, a diferencia de los microscopios ópticos convencionales, en los metalográficos el sistema de funcionamiento está invertido, ya que la muestra se coloca encima del objetivo y no debajo, permitiendo así al portamuestras moverse hacia el objetivo para enfocar la muestra, reduciendo las limitaciones de espacio entre las lentes y la plataforma portamuestra. De hecho, el uso de un microscopio óptico convencional limita las dimensiones de las muestras a analizar, ya que sólo admite muestras cuyo tamaño sea compatible con el portamuestras (Rovira Llorens y Gómez Ramos 2003: 11-12).

En ambos casos, los microscopios tienen que estar equipados con una serie de objetivos que permitan la observación de la muestra a distintos aumentos, desde 50x a una alta magnificación (1000x) con un ocular estándar de 10x.

El color también es un componente importante en los exámenes metalográficos, ayudando a identificar determinadas estructuras y las eventuales inclusiones presentes en las muestras. En el microscopio existen dos tipos de sistemas de iluminación, el campo claro (BF, *Bright Field*) y el campo oscuro (DF, *Dark Field*). El más comúnmente usado es el campo claro, y cuando se quiere identificar un elemento por contraste cromático se observa la muestra en campo oscuro. Además, la mayoría de los microscopios metalográficos están equipados con una cámara de fotos o de video que

permite obtener y almacenar las imágenes de la muestra (Rovira Llorens y Gómez Ramos 2003: 12).

En estos microscopios, para poder observar correctamente una muestra y llevar a cabo un buen examen metalográfico, debido a la pequeña distancia focal de los objetivos, la muestra tiene que presentar una superficie plana y perfectamente pulida. Los detalles del método de preparación de estas muestras metalográficas se encuentra normalizado en la norma ASTM E 3 y ya ha sido descrito en el apartado anterior.⁷

En general, para llevar cabo un examen metalográfico, después de la observación previa de la muestra, se procede al ataque químico de la superficie del material a observar mediante el uso de reactivos que se eligen en función del metal a estudiar y de la información que se quiere obtener. Siempre que sea posible, el ataque se realiza mediante inmersión, es decir sumergiendo la superficie de la muestra pulida en una solución ácida o básica débil durante un cierto tiempo, que puede variar desde unos minutos a pocos segundos según el tipo de metal o según la solución empleada. En caso de que la dimensión de la muestra lo requiera, el ataque se puede llevar a cabo utilizando un hisopo de algodón impregnado en el reactivo. Después del ataque, es necesario lavar bien la muestra con agua o alcohol y, en caso de lavado con agua, también secarla con un chorro de aire caliente para evitar fenómenos de oxidación del metal (Rovira Llorens y Gómez Ramos 2003: 41).

Mediante el ataque químico se pone en evidencia la microestructura de la muestra; el reactivo ataca la superficie del metal a una velocidad que varía con su orientación cristalina y los cristales adyacentes se disuelven a diferentes profundidades, permitiendo observar las interacciones de los límites de grano, su distribución y tamaño. Los métodos de ataque (macroataque y microataque) se encuentran normalizados en las NORMAS ASTM E 304 y E 407.⁸

Por lo que concierne al estudio de las muestras procedentes de La Fonteta, los exámenes metalográficos se han realizado empleando un microscopio metalográfico Reichert MeF3A del laboratorio del Museo de América de Madrid (Fig. 3.3), y un microscopio óptico convencional Leica modelo DMLM equipado con cámara digital

⁷ <http://materias.fi.uba.ar/6713/PREPARACION%20METALOGRAFICA.pdf>

⁸ <http://materias.fi.uba.ar/6713/PREPARACION%20METALOGRAFICA.pdf>

DFC480 de los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid (Fig. 3.4).

Los ensayos metalográficos han sido llevados a cabo en colaboración con el Prof. Dr. S. Rovira Llorens, Conservador Jefe del Museo Arqueológico Nacional de Madrid.



Fig. 3.3. Microscopio metalográfico Reichert MeF3A del laboratorio del Museo de América de Madrid.

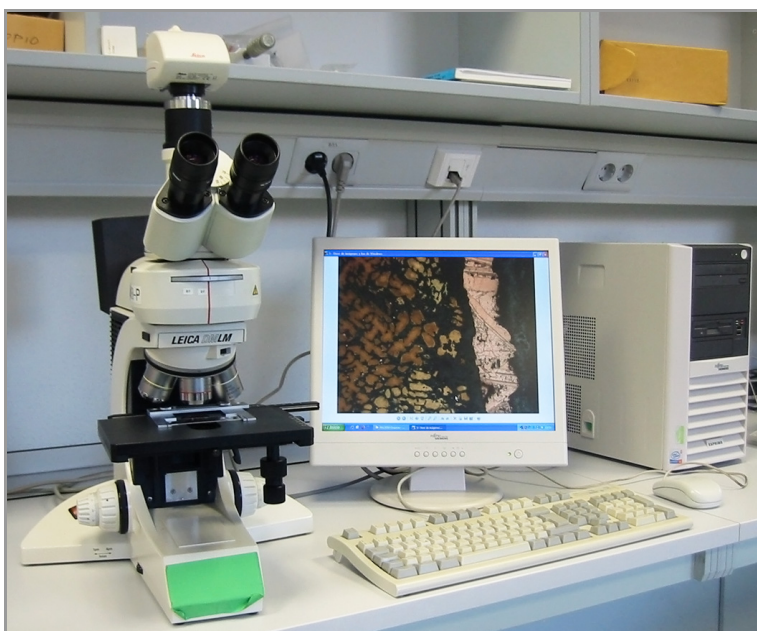


Fig. 3.4. Microscopio óptico convencional Leica modelo DMLM con cámara digital DFC480 de los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid.

La mayoría de las muestras estudiadas con esta técnica corresponden a elementos metálicos de base cobre, y se han atacando utilizando un reactivo con cloruro férrico y ácido clorhídrico en solución alcohólica, cuya composición exacta corresponde a 5 g de

cloruro férrico, 96 cc de alcohol etílico de 96° y 2 cc de ácido clorhídrico al 37% de concentración, de acuerdo con Kehl (1963: 414, tabla 3).

Los materiales de naturaleza escoriácea no se han atacado químicamente pero su observación en el microscopio óptico ha permitido realizar un estudio previo de su microestructura y de sus características generales.

3.5 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Debido a la heterogeneidad de la mayoría de los materiales arqueometalúrgicos, los ensayos metalográficos y los análisis XRF ofrecen sólo una primera aproximación al estudio de su composición y estructura. Por ejemplo, la fluorescencia proporciona análisis cuantitativos globales de la composición de un determinado material pero no permite distinguir las distintas fases estructurales y los compuestos que lo forman, mientras que en el caso de la microscopía óptica y de las metalografías sólo se obtiene información sobre la microestructura y las características generales del material examinado pero no sobre su composición.

Cuando se estudian materiales de naturaleza muy heterogénea como las escorias, para poder determinar con qué proceso metalúrgico se relacionan, es necesario identificar y analizar sus fases constituyentes, ya que su formación está directamente relacionada con los problemas pirotécnicos que se intentan aclarar.

La microscopía electrónica de barrido (SEM, *Scanning Electron Microscopy*) es una técnica analítica de gran utilidad para realizar este tipo de estudios, permitiendo realizar no sólo una observación, caracterización topográfica y morfológica de las muestras a través de imágenes de alta resolución, sino también el análisis de su composición. De hecho, estos microscopios suelen estar equipados con un microanalizador de rayos X que, realizando un análisis químico elemental semicuantitativo, permite el uso simultáneo de dos técnicas analíticas. Utilizando electrones en lugar de luz, se forma una imagen virtual dibujada en función de la composición química de la muestra en estudio y, mediante la microsonda XRF, se puede determinar la composición química elemental de las fases de interés.

Con respecto a la estructura de un SEM, la parte principal está constituida por una columna que lleva alojado en su interior un cañón de electrones con un filamento que

actúa como fuente de iluminación. Consta además de un sistema de lentes electromagnéticas que focaliza y reduce el diámetro del haz de electrones producido por el filamento. Asimismo, está provisto de un sistema de barrido que hace recorrer este haz por la superficie de la muestra, y de uno o varios sistemas de detección (detectores) que permiten captar el resultado de la interacción del haz de electrones con la muestra y transformarlo en una señal eléctrica. El acoplamiento a una o varias bombas permite que se produzca el vacío necesario para que el equipo funcione adecuadamente y para que los electrones viajen en una trayectoria rectilínea.

La técnica esencialmente consiste en hacer incidir en la muestra un haz de electrones acelerados a alta velocidad provocando la aparición de diferentes señales que, captadas por los detectores, proporcionan información acerca de la naturaleza y de las características de la muestra. Los detectores más comúnmente usados son los detectores de electrones secundarios y de electrones retrodispersados.

Los electrones secundarios son arrancados por la acción del haz incidente y emergen de la superficie de la muestra con una energía inferior a 50eV –proporcionando una imagen de su morfología superficial muy parecida a la visión del ojo humano–, mientras que los electrones retrodispersados proceden en su mayoría del haz incidente que rebota en el material después de diferentes interacciones, con una energía superior a 50eV. La intensidad de la señal de retrodispersados depende del número atómico del material –a mayor número atómico mayor intensidad– y permite distinguir fases de un material con diferente composición química proporcionando una imagen cualitativa de zonas con distinto número atómico.⁹

Para leer estas señales la sonda para el microanálisis utiliza la radiación de los rayos X que emite la muestra como resultado del bombardeo de electrones, proporcionando información analítica sobre la composición de zonas seleccionadas de la muestra, pudiéndose analizar un área de unas cuantas micras de diámetro.

La capacidad de penetración del rayo de electrones en la muestras depende del voltaje con el que se impulsan y del número atómico de los elementos que componen el material estudiado. En general estos microanalizadores, al utilizar un sistema de energía dispersiva, detectan sólo los elementos con un peso atómico mayor al del Berilio (Be), con una resolución de aproximadamente 0,1% en peso.

⁹ http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/im/m00-862/Lecturas/SEM_ICP.pdf

Por último, la profundidad de foco de un SEM varía aproximadamente de 100 a 500 μm y tiene una profundidad de campo muy elevada; la resolución suele estar comprendida entre 3 y 20 μm , dependiendo del microscopio y de sus condiciones de vacío; su capacidad de magnificación puede estar comprendida entre 20-50x y 300.000x, o incluso más en modelos más desarrollados (Yacamán y Ascencio 2000).

La preparación de las muestras para esta técnica depende del tipo de material que se quiera analizar, pero una condición básica es que los materiales a estudiar estén secos y, en general, que sean conductores de corriente eléctrica. De hecho, cuando los electrones secundarios interaccionan con un material no conductor, se produce un exceso de carga positiva en su superficie y se obtiene una imagen borrosa; por tanto, si la muestra no cumple este requisito, es necesario recubrirla con una fina película de un material conductor de la electricidad y del calor (metalización o *sputtering*), en general grafito o metales pesados como oro y platino.

Sin embargo, existen otros tipos de SEM –el de presión ambiental (*Environmental SEM*, ESEM), de presión variable (*variable pressure SEM*, VPSEM) y de bajo vacío (*Low-vacuum SEM*, LVSEM)– que permiten analizar muestras no conductoras y que se suelen emplear principalmente para el estudio de muestras orgánicas. Estos microscopios tienen la ventaja de que se pueden introducir muestras sin preparación previa, pero la resolución de las imágenes es menor debido a las colisiones elásticas entre los electrones y las moléculas del gas a presiones más altas (Skoog *et al.* 2000: 613).

La microscopía electrónica de barrido ha sido la técnica mayormente empleada para el estudio de los materiales procedentes de La Fonteta, habiéndose examinado más de un centenar de piezas en diferentes laboratorios, en España y en Alemania.

Para que la morfología de los materiales no influyera en la emisión de los rayos X y para obtener una mayor definición de la imagen, se han montado las muestras en resina y se ha pulido su superficie según el método de preparación comúnmente empleado para los estudios metalográficos ya descrito anteriormente.

Parte de los análisis SEM-EDX han sido realizados en el *Servicio Interdepartamental de Investigación* (SIdI) de la Universidad Autónoma de Madrid, empleando un microscopio electrónico Philips XL30 con detectores de electrones

secundarios y retrodispersados, y equipado con un microanalizador DX4i de EDAX (Fig. 3.5). El equipo ha sido operado por la microscopista E. Salvador.



Fig. 3.5. Microscopio electrónico de barrido Philips XL30 del Servicio Interdepartamental de Investigación (SIIdI) de la Universidad Autónoma de Madrid.

Otros análisis se han realizado en el laboratorio del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC de Madrid utilizando dos tipos distintos de microscopios. En algunos casos se ha empleado un SEM ambiental FEI Quanta 200 (Fig. 3.6) que opera con tres modos de vacío (alto vacío, bajo vacío y modo ambiental) y dispone de detectores de electrones secundarios y retrodispersados para todos los modos de vacío; este microscopio está acoplado a un sistema de análisis Oxford Instruments Analytical-Inca con dos detectores de rayos X que se pueden usar de manera simultánea y alternativamente, uno EDS (energía dispersiva) y otro WDS (longitud de onda dispersiva).

Por otro lado, para la serie de muestras analizada en este mismo laboratorio durante la última fase del presente estudio, se ha utilizado un Fei Inspect con detectores de electrones secundarios y retrodispersados que, como el anterior, dispone de un sistema de análisis integrado Oxford Instruments Analytical-Inca (Fig. 3.7). Ambos equipos han sido operados por las microscopistas M.M. Furió y L. Tormo.



Fig. 3.6. SEM ambiental FEI Quanta 200 del laboratorio del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC de Madrid.



Fig. 3.7. SEM ambiental FEI Inspect del laboratorio del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC de Madrid.

Por último, durante una estancia de estudio en Alemania, se han analizado algunas muestras en el laboratorio del centro de investigación “Arqueología y Ciencia de los Materiales” del *Deutsches Bergbau-Museum* de Bochum. Se ha empleado un SEM Jeol 6400 con un detector escintilador fotomultiplicador de electrones secundarios y uno acoplado semiconductor para el detector de electrones retrodispersados (Fig. 3.8). Este microscopio está equipado con un sistema de microanálisis EDX Thermo NORAN Vantage.



Fig. 3.8. SEM Jeol 6400 del laboratorio del *Deutsches Bergbau-Museum* de Bochum (Alemania).

Para su observación en el SEM, las muestras analizadas en los laboratorios de la UAM y del MNCN han sido metalizadas con oro, mientras que las que se han analizado en Alemania han sido recubiertas con grafito.

Generalmente, las determinaciones analíticas se han efectuado barriendo ventanas del tamaño adecuado, aprovechando las posibilidades de magnificación del microscopio; sólo en contadas ocasiones se ha recurrido al análisis puntual (*spot*).

Los análisis denominados globales se han efectuado barriendo una ventana representativa del conjunto de la muestra analizada, en general con una magnificación de 100x.

3.6 ANÁLISIS DE LOS ISÓTOPOS DEL PLOMO (LIA)

El plomo tiene cuatro isótopos estables (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb), es decir átomos con el mismo número atómico pero diferente masa, que presentan propiedades químicas prácticamente idénticas. De los cuatro isótopos del plomo, sólo el ^{204}Pb es de origen natural, ya que ha aparecido con la formación de la Tierra y su cantidad se ha mantenido invariada a lo largo de las épocas (Hunt 1998: 46). Los otros tres isótopos del plomo ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb se han formado en rocas y minerales por el decaimiento de los isótopos radiactivos naturales (^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th) a lo largo de las eras geológicas (Farquhar y Vitali 1989: 39). Pero el plomo que se encuentra actualmente en la Tierra,

el plomo común, está formado por los cuatro isótopos estables arriba mencionados y ya no contiene cantidades significativas de uranio y torio, manteniendo así constante su composición isotópica (Hunt 1998: 47). De hecho, un mineral de plomo contiene una cantidad tan elevada de este metal en comparación con el uranio y el torio, que ha mantenido la misma composición isotópica que presentaba cuando se segregaron los metales en el mineral. Este proceso puede observarse más directamente en los incrementos que se han producido progresivamente en las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, dado que la concentración de ^{204}Pb ha quedado constante a lo largo de la historia de la Tierra.

Las composiciones isotópicas de las rocas de la parte terrestre más externa han “evolucionado” más lentamente, y esta evolución ha quedado grabada en las menas de plomo pertenecientes a las distintas eras. Por tanto, la composición isotópica de los depósitos minerales puede variar significativamente de uno a otro, dependiendo principalmente de la diferente evolución y de su edad geológica (Farquhar y Vitali 1989: 39).

La abundancia de los isótopos del plomo y la significativa diferencia que se observa en la composición isotópica de las distintas zonas mineras han resultado ser una herramienta muy útil para distinguir entre depósitos minerales, y proporcionar así un método para determinar la posible procedencia de los materiales resultantes de las operaciones de producción de metal.

R.H. Brill y J.M. Wampler fueron pioneros en proponer la aplicación de los análisis de isótopos del plomo a la investigación arqueológica (Brill y Wampler 1965; 1967). A partir de finales de los años setenta, N.H. Gale y Z. Stos-Gale dieron un fuerte impulso a esta técnica e introdujeron importantes novedades, como por ejemplo la posibilidad de extender el análisis de isótopos del plomo a los minerales cupríferos para determinar su relación con los objetos de base cobre (véase, por ejemplo, Gale y Stos-Gale 1982; Gale *et al.* 1985; Stos-Gale *et al.* 1986).

Sus primeros estudios se centraron en el área mediterránea, principalmente en el Egeo y en Egipto (Gale 1978; Stos-Gale y Gale 1981 entre otros), y han proporcionado elementos fundamentales para la identificación de las principales rutas de distribución comercial en el Mediterráneo (Gale y Stos-Gale 1987; Gale 1989a; Stos-Gale y Macdonald 1991; etc.). Además, los datos obtenidos gracias a estos trabajos de análisis tanto de muestras geológicas (minerales) como arqueológicas recogidas en las zonas

objeto de sus investigaciones (Stos-Gale *et al.* 1995; 1996 y 1998; Gale *et al.* 1997), han permitido crear una importante base de datos que sigue siendo una referencia fundamental para cualquier estudio de procedencia de materiales arqueológicos.

La posibilidad de aplicar esta técnica analítica a la investigación arqueométrica depende principalmente de que las distintas transformaciones a las que pueda ser sometido un mineral o un metal durante las operaciones pirometalúrgicas no alteran su composición isotópica (Gale 1989b). Por tanto, independientemente de que el plomo esté presente como elemento mayoritario o solamente a nivel de trazas, las relaciones isotópicas no se alteran durante los procesos físico-químicos y se mantienen constantes tanto en los subproductos como en los productos finales. Esto ha permitido utilizar los isótopos del plomo para el análisis de distintos materiales arqueológicos, como por ejemplo minerales, materiales escoriáceos, restos de fundición y objetos metálicos no solamente de plomo sino también de otros metales (en general de base cobre y plata) en los que se encontraban cantidades de plomo a nivel de trazas pero suficientes para medir su composición isotópica (del orden de 0,5 mg).

El plomo analizado con este método tiene que ser relativamente puro, dado que la presencia de otros elementos puede reducir la precisión y la sensibilidad de las mediciones. Por tanto, es fundamental extraer las muestras evitando al máximo el riesgo de contaminación, ya que cuanto menor sea la cantidad de plomo presente en el material a analizar mayor es el riesgo de contaminación (Farquhar y Vitali 1989: 39).

Una vez extraída la muestra, en caso de analizar materiales en los que el plomo no sea el elemento mayoritario, es necesario separar químicamente el plomo antes de medir su composición isotópica. Generalmente, este procedimiento de separación se efectúa en un laboratorio ultralimpio y se lleva a cabo mediante electrodeposición o cromatografía de intercambio iónico seguida por separación anódica. La cantidad de plomo puro necesario para un análisis es de aproximadamente 10^{-7} g (Hunt 1998: 55).

Las tres ratios isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de un determinado mineral corresponden a unos valores numéricos que, en principio, pueden usarse para distinguir la procedencia del mineral y de los materiales resultantes. Actualmente, en la investigación arqueométrica, se suelen emplear mayormente las ratios $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para representar gráficamente los resultados en un diagrama bivalente y examinarlos visualmente, ya que estas relaciones generalmente proporcionan un medio suficientemente fiable de diferenciación entre los distintos campos isotópicos (Farquhar

y Vitali 1989: 39-40). Sin embargo, según las áreas geográficas, para obtener una mejor discriminación puede ser necesario emplear otras ratios, además una comparación entre distintos diagramas bivariantes puede contribuir a que el estudio sea más fiable.

En síntesis, los análisis de los isótopos del plomo se basan en la variabilidad de las composiciones isotópicas de los minerales presentes en los distintos depósitos, ya que esta composición es característica de una determinada zona minera y queda invariable tanto a lo largo del tiempo como durante los procesos metalúrgicos a los que pueda someterse el mineral. Asimismo, dentro de los mismos depósitos minerales, la variabilidad de la composición isotópica generalmente suele ser mínima. Sin embargo, es importante que la caracterización de las zonas mineras incluya el análisis de una muestra representativa de minerales recogidos en distintas áreas del depósito, con el fin de que su campo isotópico pueda ser definido correctamente (Hunt 1998: 50-51; Ixer 1999: 50).

También existen algunas limitaciones en la aplicación de este método, como por ejemplo la posibilidad de mezclas entre metales de distinta procedencia. Además, puede darse el caso de que depósitos minerales ubicados en distintas zonas geográficas presenten composiciones isotópicas parecidas y a veces difícilmente diferenciables, con campos isotópicos parcialmente solapados que no permiten determinar claramente el origen del material examinado. En estos casos, un estudio comparativo de la composición química principal y de los elementos traza tanto de las muestras geológicas como de los materiales arqueológicos examinados puede contribuir a diferenciar los distintos recursos mineros posiblemente empleados en un determinado yacimiento y en una determinada época.

Para medir los isótopos de plomo se utiliza un espectrómetro de masas, un instrumento que permite analizar los diferentes isótopos atómicos separando los átomos cargados eléctricamente, es decir iones, en función de la relación masa-carga (m/z) de su núcleo, calentando con un haz parte del compuesto a analizar hasta vaporizarlo e ionizar los diferentes átomos. El haz de iones produce un patrón específico en el detector que permite analizar el compuesto. Los espectrómetros de masas más comúnmente empleados son los de ionización térmica (*Thermal Ionisation Mass Spectrometer*, TIMS) y constan básicamente de tres partes: fuente de iones cargados positivamente o cámara de ionización, en la que se introduce la muestra para ser ionizada por calentamiento; un sector magnético (electroimán), que permite la

separación de los distintos isótopos en función de sus masas; y colectores de iones que corresponden al sistema de detección para medir la cantidad de cada isótopo (Santos Zalduegui *et al.* 2004b: 29).

En general, para efectuar los análisis de masas se utiliza el método del gel de sílice para producir iones de plomo. Un máximo de 1 µg de plomo en solución se coloca sobre un fino substrato de gel de sílice con una pequeña cantidad de ácido fosfórico en un filamento metálico, que suele ser de renio; los iones de plomo son producidos por el calentamiento eléctrico de este filamento (Cameron *et al.* 1969). La temperatura elevada (de entre 1100-1300°C) genera la ionización del vapor y, mediante un campo de alto voltaje y colimadores, los iones producidos se aceleran y se coliman en un haz que entra en un campo magnético generado por el electroimán, desviando los iones en líneas circulares. Los radios de estos círculos son proporcionales a las masas de los isótopos, y por tanto los más pesados son desviados menos que los que tienen una masa menor. Estos iones separados alcanzan los colectores que suelen ser recipientes metálicos definidos como jaulas o cajas de Faraday (*Faraday cups*) o contadores de iones SEM (*Secondary Electron Multiplier*), conectados directamente con la red electrónica de medición.

Los espectrómetros de masas de ionización térmica miden las proporciones isotópicas en vez de las frecuencias absolutas, y las proporciones finales corresponden a los valores medios de cada grupo de medida (un análisis suele constar de 75 medidas individuales). Una vez obtenidos los datos, es necesario corregir el fraccionamiento isotópico analizando patrones, es decir materiales de referencia de composición isotópica conocida y certificada por el *National Institute of Standards and Technology*, generalmente uno de los *NBS Standard Reference Materials*, SRM 981 o SRM 982 (Hunt 1998: 53-56).

Para el estudio de procedencia de los materiales de La Fonteta, se ha efectuado una selección de 23 muestras de las cuales se hablará en el correspondiente capítulo (Cap. 11). Los análisis de los isótopos del plomo de estas muestras han sido llevados a cabo en dos distintos laboratorios: una primera serie de 19 muestras ha sido analizada en el *Institut für Mineralogie* de la *Westfälische Wilhelms-Universität* de Münster (Alemania), y en cambio las otras 4 muestras se han analizado en el *Servicio General de Investigación de Geocronología y Geoquímica Isotópica* (IBERCRON) de la *Universidad del País Vasco* de Bilbao (UPV-EHU).

Los análisis del primer grupo de materiales –que incluye fragmentos de galena, goterones de plomo, elementos metálicos de base cobre y restos de copelación– han sido realizados en Münster por el Dr. M. Bode empleando un espectrómetro de masas de ionización térmica (TIMS) VG Sector 54 con multicolector, equipado con 9 colectores Faraday (Fig. 3.9).

El método de preparación de las muestras varía en función del tipo de material examinado. Para las muestras no metálicas con un porcentaje de plomo suficientemente elevado (galena y restos de copelación), el proceso de preparación ha consistido en la pulverización de una pequeña porción de muestra en un molino de bola de ágata, hasta alcanzar un tamaño de partícula extremadamente fino, del orden de 62 μm . Las muestras metálicas (los goterones de plomo y los restos de fundición de cobre-plomo) han sido extraídas mediante el uso de brocas de acero inoxidable de 1,2-1,5 mm de diámetro, empleando una broca diferente para cada pieza para evitar el riesgo de contaminación. Para estas muestras no ha sido necesario proceder a ningún tipo de separación química del plomo. Previamente al análisis, aproximadamente 3 mg de muestra han sido disueltas en 10 ml de 6N HCl y diluidas con H₂O-Milli-Q hasta obtener 30 ppm de plomo.



Fig. 3.9. Espectrómetro de masas de ionización térmica VG Sector 54 del *Institut für Mineralogie* de la *Westfälische Wilhelms-Universität* de Münster (Alemania).

En el caso de muestras con un contenido reducido en plomo o de materiales en los que se había detectado la presencia de otros elementos que pudieran interferir con un

correcto funcionamiento del espectrómetro (principalmente materiales escoriáceos, cobres sin alear y bronces), se ha empleado la cromatografía en columnas de intercambio iónico para separar químicamente el plomo. Este proceso ha sido llevado a cabo por M. Behmenburg, en los laboratorios del centro de investigación “Arqueología y Ciencia de los Materiales” del *Deutsches Bergbau-Museum* de Bochum. Una descripción detallada del proceso para la separación química del plomo aquí empleado se puede encontrar en Prange (2001) y en Pernicka *et al.* (1984).

El plomo obtenido mediante cromatografía de intercambio iónico ha sido disuelto en 4-6 ml de 6N HCl. 1µl de estas disoluciones ha sido cargado sobre un filamento de renio utilizando el método de absorción en gel de sílice/H₃PO₄ (2µl de gel de sílice y 1µl de 0,25N H₃PO₄) y secado en varias etapas (Cameron *et al.* 1969). Durante las mediciones, la temperatura de trabajo del filamento se ha mantenido entre 1200°C y 1300°C, con un voltaje de aceleración de aproximadamente 8 kV.

Las muestras han sido medidas en modo estático en cuatro cajas de Faraday, una para cada isótopo de plomo analizado (aproximadamente 2-4 voltios in ²⁰⁸Pb). La corrección de la fraccionamiento isotópico ha sido calculada usando el estándar NBS-982 (Todt *et al.* 1996), con el resultado de un factor de corrección de 1.0011/amu. El error estándar (precisión 2SE) era siempre inferior a 0.01% después de 6 bloques de 15 mediciones.

La composición isotópica de las otras muestras –que incluyen goterones de plomo y residuos de copelación– ha sido analizada por el Dr. J.F. Santos Zalduegui del IBERCRON de Bilbao utilizando un espectrómetro de masas de ionización térmica (TIMS) Finnigan MAT 262, equipado con 8 cajas Faraday y un Multiplicador de Electrones Secundarios (Fig. 3.10).

Para la preparación de las muestras, como en el caso anterior, se ha seleccionado un área limpia de los goterones de plomo para extraer la muestra mediante un taladro con broca de acero inoxidable de 1,2 mm de diámetro, utilizando una broca diferente para cada muestra. Sucesivamente, estas muestras han sido disueltas en 3 ml de 7N HNO₃ para poder medirlas en el espectrómetro.

En el caso de los residuos de copelación, que han sido pulverizados en un molino de bola, se ha tenido que llevar a cabo la separación química del plomo. Este procedimiento de digestión por ácido se ha efectuado en HF y 7N HNO₃ y después de su evaporación, se ha añadido al residuo una solución de 3N HCl. Finalmente, usando

una resina Dowex 1X8, se ha separado el plomo mediante intercambio iónico en microcolumnas de separación en Teflon® (Savillex); luego se ha disuelto en 100µl de 6N HCl y recogido en vasos de Savillex en los que se ha introducido una gota de H₃PO₄.



Fig. 3.10. Espectrómetro de masas con fuente de ionización térmica Finnigan MAT 262 del IBERCRON de la Universidad del País Vasco de Bilbao.

Una descripción más exhaustiva de este procedimiento se puede encontrar en Montero Ruiz *et al.* (2007) y en Santos Zalduegui *et al.* (2004a). Las muestras diluidas y el estándar han sido cargados separadamente sobre filamentos de renio desgasados con 3 µl de gel de sílice y calentados hasta alcanzar aproximadamente 2,3 mA antes de introducirlos en el TIMS.

Al igual que en el laboratorio de Münster, estas muestras también han sido medidas en modo estático en cuatro cajas de Faraday, una para cada uno de los isótopos de plomo analizados (ca. 2-4 voltios en ²⁰⁸Pb). Los datos obtenidos han sido corregidos por fraccionamiento de masas mediante su comparación con los valores obtenidos por medidas repetidas del estándar de plomo NBS-981 y de su valor teórico propuesto por Todt *et al.* (1996).

La reproducibilidad de las mediciones realizadas en ambos laboratorios se muestra en la Tabla 3.1.

	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
NBS 982 (Todt <i>et al.</i> 1996)	1,000160	0,467006	36,7492	17,1621	36,7555
Valores medios de NBS 982 después de 185 medidas (Lab. de Münster)	0,99868	0,46676	36,623	17,094	36,574
Desviación estandar (2SD) (Münster lab.)	0,0011	0,003	0,0439	0,0238	0,0682
RSD (%) (Lab. de Münster)	0,1072	0,0716	0,1200	0,1390	0,1864
NBS 981 (Todt <i>et al.</i> 1996)	2,16701	0,914585	16,9356	15,4891	36,7006
Valores medios de NBS 981 después de 6 medidas (Lab. de Bilbao)	2,16351	0,91396	16,911	15,456	36,587
Desviación estándar (2SD) (Lab. de Bilbao)	0,002	0,0008	0,016	0,022	0,070
RSD (%) (Lab. de Bilbao)	0,0924	0,0875	0,0946	0,1423	0,1913

Tabla 3.1. Reproducibilidad (2SD) y valores medios de las medidas estándar (NBS 982, NBS 981) en los laboratorios de Münster y de Bilbao comparados con los valores estándar medidos por Todt *et al.* (1996).

4. LA METALURGIA DE BASE COBRE

4.1 LA METALURGIA DEL COBRE

En el estado actual de la investigación, la tecnología para la obtención del cobre en el mundo occidental presenta características similares desde sus inicios hasta época romana. Los procesos metalúrgicos suelen ser operaciones de reducción directa de minerales de cobre –tipo malaquita, azurita, cuprita, etc.– o de minerales mixtos óxido-sulfuro que podían ser reducidos en simples estructuras pirometalúrgicas, generalmente de tipo abierto, o también utilizando una vasija cerámica como reactor. De hecho, en varios yacimientos peninsulares de distinta cronología se ha documentado la presencia de unos recipientes que se utilizaban como pequeños “hornos” de reducción y de cuyo funcionamiento se hablará en el correspondiente capítulo (Cap. 8) (Gómez Ramos 1996c: 129-130).

Las escorias resultantes de estos procesos suelen ser fragmentos de pequeño tamaño; en los ejemplares de mayores dimensiones se aprecian superficies redondeadas que sugieren una forma originariamente nodular (Fig. 4.1).

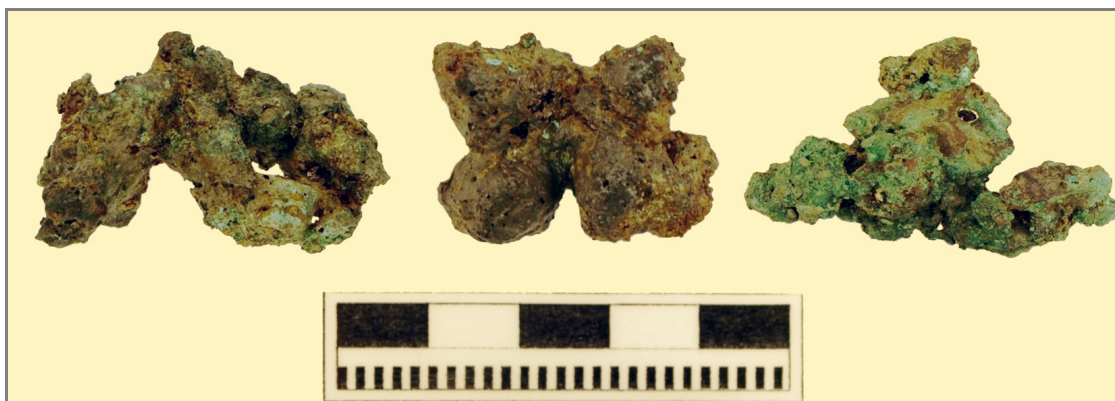


Fig. 4.1. Escorias de cobre de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén). Bronce Medio avanzado. Foto Francisco Contreras y Auxilio Moreno Onorato.

En general, tienen textura heterogénea, superficies de color verdoso debido a la formación de sales de cobre y pueden presentar relictos de mineral, granos de sílice, restos de carbón y numerosas inclusiones metálicas o de sulfuro que han quedado atrapadas en la matriz debido a la alta viscosidad de la escoria. De hecho, en la metalurgia temprana durante las operaciones de reducción no siempre se alcanzaban las

condiciones necesarias para que las dos fases, el metal y la escoria, llegaran a formarse del todo; la mayoría de las veces las temperaturas alcanzadas en el horno eran insuficientes y/o las condiciones redox del sistema eran demasiado irregulares para que se llevara a cabo correctamente la reducción completa del mineral. Este tipo de escoria de reducción se ha denominado “inmaduro”, es decir un material escoriáceo resultante de procesos metalúrgicos incompletos que suponen elevadas pérdidas de mineral y de metal (Rovira Llorens y Renzi 2010: 105-107).

Estos materiales se encuentran representados en un amplio marco cronológico que en muchas regiones peninsulares va desde el Calcolítico hasta la Edad del Hierro. Es solamente con el desarrollo de los verdaderos hornos cuando se documentan escorias de cobre más evolucionadas, aunque en la Península Ibérica no se conocen hasta época romana (Rovira Llorens y Renzi 2010: 108-109).

4.1.1 Las escorias de cobre de La Fonteta

Las escorias de cobre procedentes de La Fonteta no constituyen una excepción y presentan rasgos similares a las arriba mencionadas. Suele tratarse de fragmentos de pequeño tamaño (3-4 cm) y generalmente amorfos o de forma nodular; sólo en los ejemplares más grandes se aprecia una morfología de tendencia plano-convexa (Fig. 4.2).



Fig. 4.2. Escoria de cobre (F31033) de La Fonteta.

En todas las escorias analizadas las superficies son irregulares y están casi enteramente recubiertas por sales de cobre que les proporcionan una intensa coloración verdosa, además suelen presentar incrustaciones terrosas.

El material en fractura habitualmente tiene textura heterogénea, bastante densa y compacta; presenta distintas coloraciones que van del morado-verdoso al negro con algunas manchas cobrizas. En gran parte de las escorias se aprecia la presencia de

abundantes inclusiones metálicas visibles a simple vista, algunas de gran tamaño, del orden de 2-3 mm; la mayoría de las escorias analizadas presenta magnetismo (Fig. 4.3).



Fig. 4.3. Sección de la escoria de cobre F31033 de La Fonteta. Se aprecia la presencia de numerosas inclusiones metálicas atrapadas en la matriz.

Se han analizado por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) siete muestras de escorias de cobre, cuyos resultados analíticos se presentan en el Anexo a esta Tesis, ordenados en fichas individuales para cada muestra.

Seis de estas escorias proceden de los niveles de frecuentación de distintas estructuras de la fase II del yacimiento (aprox. segunda mitad del siglo VIII a.C.), de las cuales tres fragmentos han sido recogidos en el Corte 14, dos en el Corte 5 y uno en el Corte 25. Sólo un ejemplar ha sido asignado al nivel más arcaico de La Fonteta (fase I, aprox. primera mitad del siglo VIII a.C.) y procede de los niveles de vertido de la zona metalúrgica del Corte 54-1.

Desde el punto de vista analítico, en general la matriz de estas escorias es un material fundido (vidrio) cuya composición corresponde a la de un silicato complejo de tipo piroxénico rico en óxido de calcio y de hierro, a veces con algo de cobre y plomo. Se han detectado también bastones de materiales ricos en sílice, aluminio y calcio en distintas proporciones, como la melilita y la alumoakermanita (que en dos casos constituyen la matriz de la escoria), o compuestos de tipo feldespático, generalmente anortita.

En varias muestras se observan zonas con presencia de óxido de hierro (magnetita) tanto en forma de dendritas como de cristales tabulares y globulares. En casi

todas las escorias analizadas se aprecia la presencia de granos de sílice y de calcita parcialmente disueltos o todavía sin reaccionar que, en algunos casos, se ha supuesto podría tratarse del relleno de vacuolas de la escoria por contaminación del medio.

En una región periférica de la muestra F11103 se ha observado un posible relicto de mineral, compuesto por zonas de sulfuro de cobre con un contenido apreciable de plomo y zonas meteorizadas a compuestos oxidados. En la zona central y en los alrededores del relicto de mineral se han detectado restos de ganga de naturaleza silícea (Fig. 4.4).

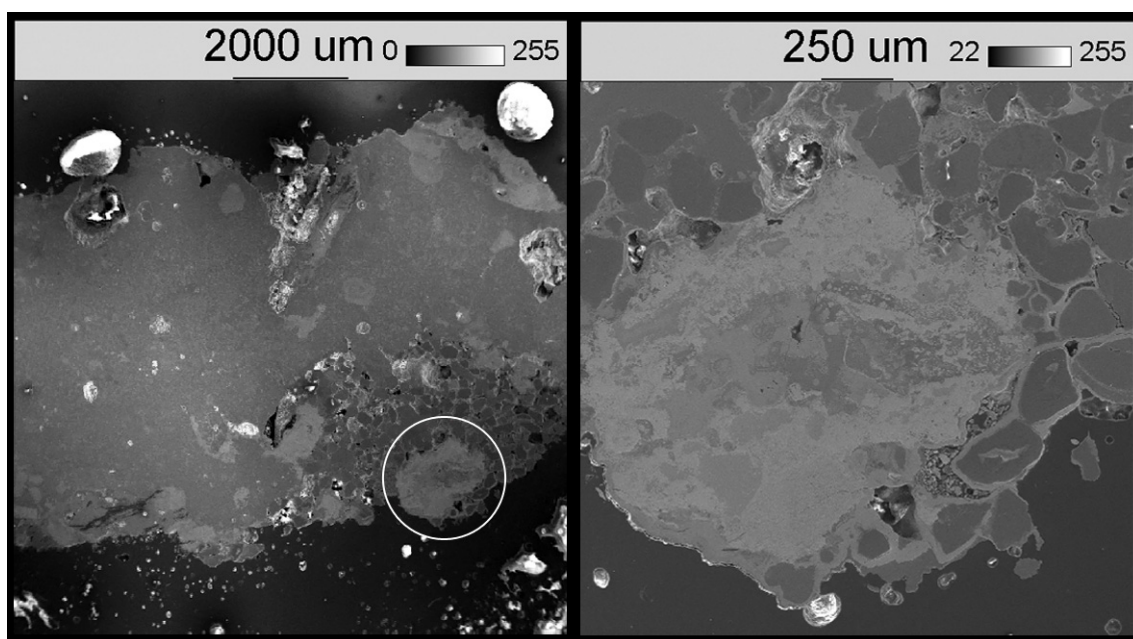


Fig. 4.4. La Fonteta, escoria de cobre F11103. A la izquierda: vista general de la muestra en la que se aprecia el posible relicto de mineral (dentro del círculo blanco). A la derecha: detalle del posible relicto de mineral. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En otra muestra (F31125) se encuentran restos de baritina, en forma de pequeñas agujas, englobados en un grano de enstatita que podrían interpretarse como restos de las impurezas del mineral original.

Todos los fragmentos estudiados presentan amplias zonas de óxidos de cobre, apreciándose fenómenos de corrosión secundaria por cloruros y/o por oxígeno. Se aprecia la presencia de varias inclusiones metálicas de cobre, mayormente de forma globular, que suelen tener composiciones distintas entre ellas, tratándose en algunos casos de cobre puro y en otros de cobres con contenidos variables de plomo, hierro y, en ocasiones, también con impurezas de estaño; en varias muestras se han detectado

inclusiones de sulfuro de cobre. Una de las escorias analizadas (F31125) presenta una inclusión de cobre con segregados de plata (Fig. 4.5).

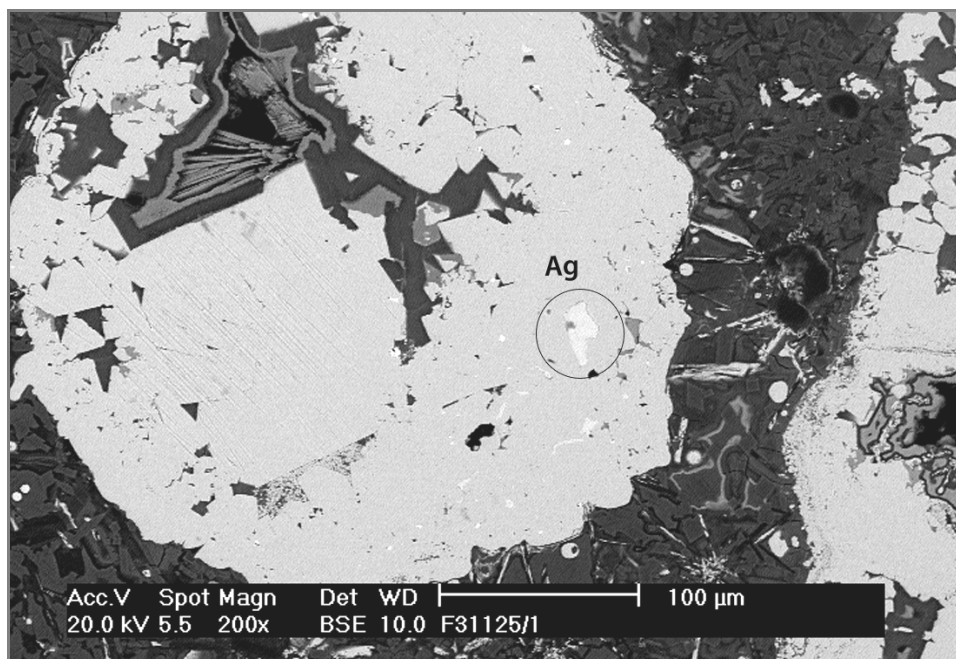


Fig. 4.5. La Fonteta, escoria de cobre F31225. Inclusión de cobre con varios segregados de plata. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La formación de delafosita en una de las muestras (F62016) y la presencia generalizada de magnetita en casi todas las escorias analizadas, nos indican que durante el proceso metalúrgico hubo episodios de ambiente oxidante y que además, en los casos en los que se ha encontrado magnetita en forma de dendritas, las temperaturas alcanzadas tuvieron que ser por lo menos superiores a los 1300°C para que el óxido de hierro pudiera fundir y llegar a formar estas estructuras.

No se aprecian diferencias significativas en la composición química de las escorias analizadas. En todos los casos estudiados sus características son similares y las diferencias observadas son coherentes con la heterogeneidad de la mayoría de las muestras.

En la Tabla 4.1 se presenta un resumen de la composición de la matriz de las distintas escorias que, como se ha mencionado anteriormente, corresponde en general a un material fundido de tipo piroxénico; sólo en las muestras F1410 y F62016 se ha formado respectivamente un material del tipo de la melilita y de la alumoakermanita.

En la muestra F31125 la matriz ha retenido también algo de cobre y en la F11103 se ha detectado cobre con algo de plomo.

Muestra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	CuO	PbO
F1410	nd	5,27	23,97	32	nd	36,2	nd	2,56	nd	nd
F11072	0,33	3,56	13,02	29,94	0,61	41,75	0,19	10,61	nd	nd
F11103	1,42	4,18	7,02	36,96	0,51	38,33	nd	10,86	nd	0,73
F31033	nd	1,21	8,35	48,29	0,26	39,45	nd	2,44	nd	nd
F31125	2,2	3,88	11,95	41,63	2,23	28,77	0,78	6,81	1,75	nd
F62016	2,65	9,49	10,2	41,95	0,59	32,95	nd	2,15	nd	nd
F62029	0,32	3,02	9,55	35,28	2,44	44,57	0,69	4,12	nd	nd

Tabla 4.1. Resultados SEM-EDX (expresados como óxidos, % en peso) del análisis de la matriz de las escorias de cobre de La Fonteta (nd: no detectado).

Habitualmente el aporte de calcio a la escoria procede de las cenizas del combustible pero, dado el elevado contenido de este elemento detectado en las escorias de La Fonteta, parte de ello podría proceder del entorno. También la abundante presencia de sílice podría deberse a la naturaleza del suelo de la zona. De hecho, toda la base geológica sobre la que se asienta el yacimiento está compuesta principalmente por arena y roca caliza; por tanto, tratándose de simples estructuras de combustión, probablemente de tipo abierto y excavadas directamente en el suelo, no sería improbable que estos elementos hubieran llegado a la escoria también como contaminación del medio. Asimismo, de acuerdo con la presencia en la muestra F11103 de un relicto de mineral con restos de una posible ganga silíceas (Fig. 4.4.) y de un grano de enstatita con baritina en la escoria F31125, parte de la sílice presente en el sistema podría haber sido aportada también por la ganga de los minerales empleados.

En los casos en que la microestructura de la muestra lo permitía, se han efectuado análisis globales de la composición de las escorias abriendo ventanas de tamaño significativo (generalmente a 100x) en zonas representativas de las muestras; los resultados se muestran en la Tabla 4.2.

Muestra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	CuO	PbO
F11072	0,72	3,45	6,92	25,1	nd	1,44	31,5	nd	25,66	5,22	nd
F11103	nd	2,82	7,19	27,6	0,25	1,83	21,3	nd	31,41	6,68	0,86
F31033	nd	3,89	9,89	35,7	nd	1,03	43,0	nd	3,45	2,99	nd
F31225	1,96	4,98	10,81	40,1	nd	1,78	31,3	0,74	6,63	1,26	0,42
F62029	0,56	3,41	9,92	34,9	0,12	1,62	43,4	0,55	3,34	2,14	nd

Tabla 4.2. Resultados SEM-EDX (expresados como óxidos, % en peso) de los análisis globales de la composición de algunas escorias de cobre de La Fonteta (nd: no detectado).

La representación de estos valores en un diagrama ternario de fases $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$, observando en qué región térmica se encuentran, nos ha permitido determinar indicativamente las temperaturas de trabajo alcanzadas durante los procesos metalúrgicos que han dado lugar a la formación de estos materiales (Fig. 4.6).

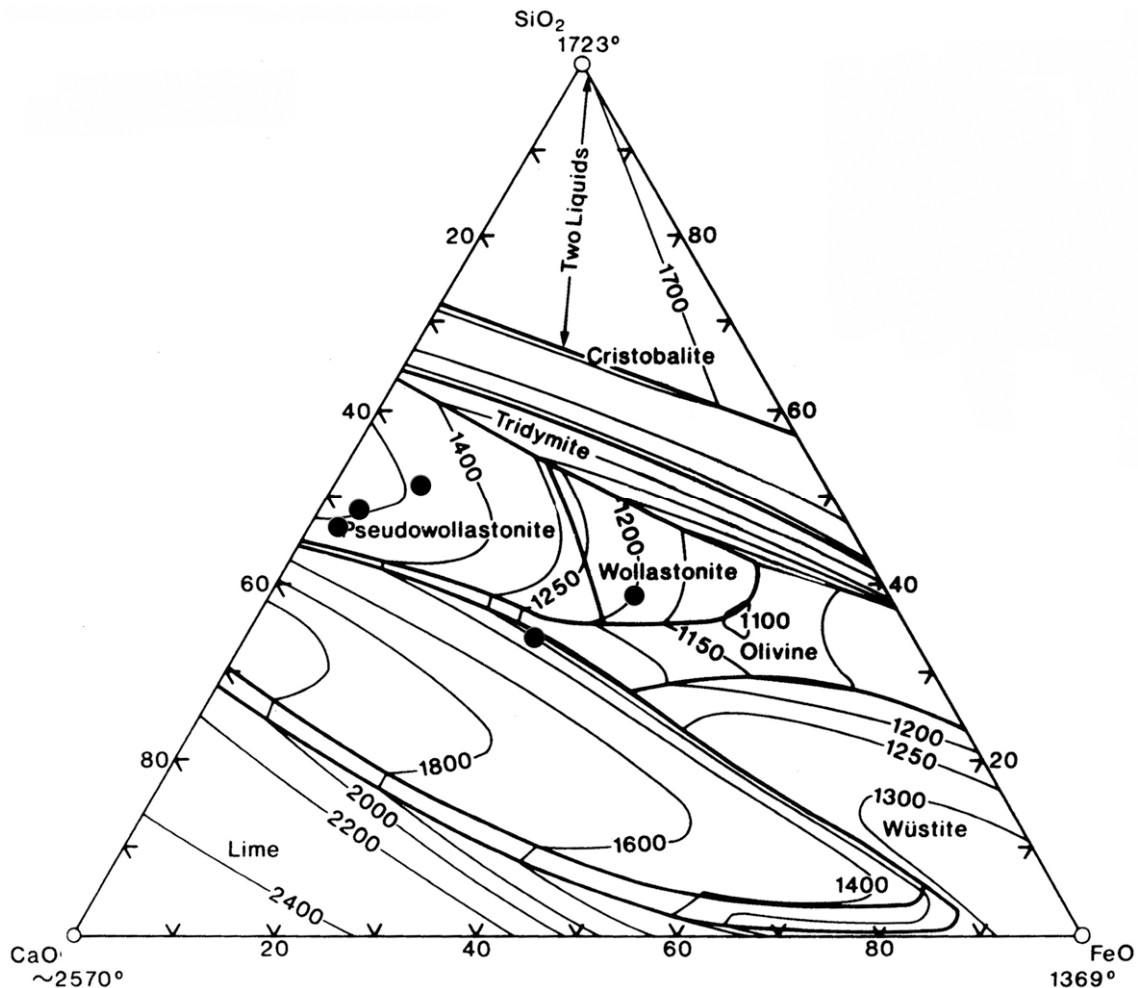


Fig. 4.6. Diagrama ternario de equilibrio de fases $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$ en el que se representan los puntos correspondientes a los análisis globales realizados mediante SEM-EDX de algunas escorias de cobre de La Fonteta.

Tres de las muestras se localizan dentro o próximas a la región de la pseudowollastonita, que está comprendida entre los 1400°C y los 1500°C teóricos. Evidentemente, este rango de temperaturas no se puede alcanzar en una estructura de fuego abierto y ni siquiera en un horno evolucionado de la época, por tanto nos induce a pensar, como ya han indicado algunos autores (Bachmann 1982: 10; Hauptmann 2007: 161), que las reacciones para la formación de una escoria se producen a temperaturas más bajas de las teóricas, dado que se trata de un sistema en no-equilibrio. En todo caso, este rango de temperaturas nos está indicando la dificultad para obtener una escoria

fluida con materiales de dicha composición y explica por qué éstos se forman en estado semisólido, ya que su elevada viscosidad impide una buena separación del metal. Las otras dos escorias se encontrarían en una zona comprendida entre 1200°C y 1250°C, en la región de la wollastonita (Fig. 4.6).

Las tres muestras que se sitúan en una región de temperaturas más altas, presentan una microestructura heterogénea con una matriz fundida formada principalmente por calcio y silicio, con una escasa cantidad de hierro; esta insuficiencia de hierro en el

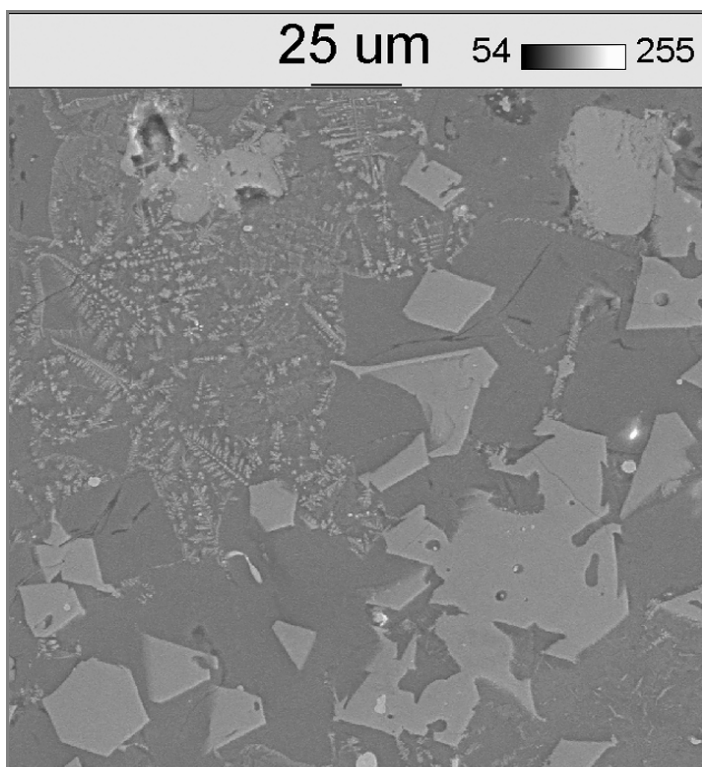


Fig. 4.7. La Fonteta, escoria de cobre F11103. Formaciones de magnetita en forma de cristales tabulares y pequeñas dendritas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

sistema no permitió la formación de fayalita, dando lugar a escorias viscosas de mala calidad. Por el contrario, las dos muestras que caen en la región de la wollastonita teóricamente deberían haber fundido mejor en función de las indicaciones térmicas. Sin embargo, la observación de su microestructura nos indica que tampoco estas dos escorias llegaron a licuar adecuadamente, en este caso debido a unas condiciones redox variables. De hecho, en la escoria F11103 la mayor

parte del óxido de hierro presente en el sistema está en forma de magnetita (Fig. 4.7), y el ambiente oxidante que produjo la formación de esta magnetita impidió la reacción del óxido de hierro con la sílice para formar fayalita.

Por tanto, los análisis composicionales sin un conveniente estudio microestructural pueden conducir a error porque en teoría, según los resultados obtenidos, el punto correspondiente a esta muestra cae en una región de baja temperatura relativa y por tanto se podría considerar como una escoria de buena calidad; sin embargo, su microestructura indica que se trata de una escoria que difícilmente podría haber llegado a fundir. La situación de la segunda muestra situada en la región de la wollastonita

(F11072) es similar ya que, como en el caso anterior, también hubo abundante formación de magnetita.

Con respecto a la pérdida total de metal en la escoria, aunque en todos los casos estudiados sea bastante elevada (comprendida entre 1,2% y 6,6% CuO), es coherente con una tecnología primitiva (Hauptmann 2003: 460). La presencia de abundantes inclusiones de cobre y de amplias zonas de óxidos explica el alto contenido en este metal detectado en los análisis globales de las muestras ya que la matriz, excluyendo dos casos, no ha retenido cobre (Tabla 4.1).

En resumen, las características tanto morfológicas como analíticas de estos materiales escoriáceos parecen indicar que se trata de escorias resultantes de procesos de obtención de cobre por reducción de sus minerales. La presencia de un relicto del mineral original nos sugiere además que se estaban explotando minerales mixtos óxido-sulfuro de cobre con distintas impurezas, principalmente plomo y hierro, y en menor medida estaño. Asimismo, la diferencia de composición de las inclusiones metálicas analizadas, con contenidos variables principalmente de hierro y plomo, y la presencia de numerosas inclusiones de sulfuro de cobre en la mayoría de las muestras estudiadas, son elementos que apoyan la hipótesis del aprovechamiento de este tipo de minerales y que, por tanto, estas escorias sean el resultado de procesos de obtención primaria de cobre. En todo caso, se trata de una metalurgia de rasgos todavía primitivos de las que resultan subproductos de mala calidad que conllevan una considerable pérdida de metal en la escoria.

4.1.2 Estudio comparativo y discusión

Para la época objeto de esta tesis no se conocen muchos yacimientos peninsulares que hayan proporcionado materiales que puedan relacionarse directamente con procesos metalúrgicos para la obtención de cobre y que permitan una comparación con las escorias procedentes de La Fonteta. Esta falta de hallazgos de escorias de cobre depende en parte de la escasez de estudios analíticos realizados, sin los cuales es imposible establecer si los materiales de base cobre corresponden a subproductos de la producción de cobre o de bronce.

Sin el objetivo de ser exhaustivo, la mayoría de los datos actualmente disponibles proceden de la zona del suroeste de la Península Ibérica. Algunas escorias de cobre han sido halladas en el yacimiento cordobés del Cerro del Depósito; estos materiales han

sido catalogados por C. Domergue (1987: 571) que publica los análisis composicionales de dos de los fragmentos encontrados (sólo de las fases metálicas) y los atribuye genéricamente a época prerromana.

Para el periodo orientalizante, se menciona la presencia de escorias de cobre en el yacimiento de Setefilla (Lora del Río, Sevilla) pero no se publican detalles de su morfología ni de su composición (Aubet *et al.* 1983: 79). Asimismo, en el poblado de El Carambolo (Sevilla) se recogieron algunos fragmentos de escorias y alguna escorificación en vasija metalúrgica que, de acuerdo con los resultados del análisis por ED-XRF de la composición elemental de sus fases metálicas publicados en un reciente estudio monográfico sobre el yacimiento (De la Bandera y Ferrer 2010), podrían corresponder a subproductos de la metalurgia del cobre por los bajos contenidos detectados de estaño (0,02-0,09% Sn) y de plomo (0,2-0,5% Pb) (Hunt *et al.* 2010: 276-281).

Otros fragmentos proceden del yacimiento de La Saetilla (Palma del Río, Córdoba), en el que se menciona el hallazgo de escorias de fundición y de cuarzos cupríferos, aunque no se proporciona información específica del material encontrado ni el análisis de su composición (Araque y Murillo 1990: 214). Sin embargo, gran parte de la información sobre subproductos de la metalurgia del cobre de la que se dispone actualmente se debe a los numerosos trabajos de excavación arqueológica y de prospección realizados en distintas zonas mineras del Cinturón Ibérico de Piritas. Se menciona la existencia de fragmentos de escorias de cobre en varios centros del Bronce Final de la provincia de Huelva y se presentan los análisis químicos de la composición de algunos de estos materiales. Por ejemplo, en Chinflón (Zalamea La Real) se señala la presencia de “pequeños fragmentos de vertido que sugieren el uso de hornos de sangrado” (Pérez Macías 1996: 156). En Masegoso (Zalamea La Real) también se han encontrado escorias de cobre que el autor define como “pequeños fragmentos de fayalitas de horno” (Pérez Macías 1996: 159), una definición algo confusa.

Una situación parecida, con supuestos hallazgos de fragmentos de escorias de sangrado, se ha documentado en Río Corumbel y en la Mina de San Cristóbal. No está claro si este tipo de materiales escoriáceos, supuestamente de sangrado, coexistiría en la misma fase cronológica con otro tipo de escorias definidas genéricamente “fragmentos de escorias de horno de producción de cobre” (Pérez Macías 1996: 154-169) documentados en varios yacimientos minero-metalúrgicos de la zona, o si se usa una distinta denominación para hacer referencia al mismo tipo de material. Los análisis

químicos proporcionados por el autor no parecen sugerir que se trate de dos tipos distintos de escorias. Además, de estas escorias de cobre no se publica ninguna foto ni macroscópica ni microscópica que muestre su morfología y/o su microestructura; los análisis realizados son sólo elementales y no proporcionan información de sus fases estructurales. Asimismo, la ausencia total de materiales de sangrado y de estructuras pirometalúrgicas tan evolucionadas en todos los yacimientos peninsulares actualmente conocidos del Bronce Final (y también de la Edad del Hierro), nos hace dudar de esta interpretación. Parece ser de la misma opinión M. Hunt (2003: 252-253) cuando, en su estudio sobre la metalurgia del suroeste de la Península Ibérica, menciona la presencia de escorias de cobre en distintos yacimientos de la provincia de Huelva –como Chinflón, Mansegoso, la Sierra de Tejada (Mina 9) o la Sierra de la Lapa (Encinasola)– especificando que se trata de *non-tapped furnace slags*, es decir que no son escorias de sangrado.

Escorias de cobre han sido encontradas también en las excavaciones de C/ Puerto 10 en el casco urbano de la ciudad de Huelva pero, de nuevo, se desconocen los detalles analíticos de su composición (Garrido y Orta 1994: 209). Sin embargo, en el trabajo de González de Canales *et al.* (2004) sobre los materiales procedentes de las excavaciones de la C/ Méndez Núñez - Plaza de las Monjas, se presenta un estudio analítico preliminar de algunos de los restos metalúrgicos encontrados. De nuevo la interpretación es confusa; se habla de posibles escorias de sangrado basando esta interpretación en algunas de sus características morfológicas que son consideradas “similares” a las de unos materiales escoriáceos encontrados en Chipre, donde la tecnología metalúrgica tiene rasgos bastante distintos de la metalurgia peninsular. A pesar de que la descripción morfológica de las muestras interpretadas como escorias de sangrado proporcionada por los autores podría ajustarse a este tipo de material (González de Canales *et al.* 2004: 148-149) –aunque tampoco en este caso se presentan imágenes que soporten esta teoría– su composición altamente silícica, con un contenido que varía entre 63% y 76% SiO₂, y la escasa presencia de óxido de hierro, que está comprendido entre el 2% y el 3% FeO (González de Canales *et al.* 2004: 151), nos indican claramente que no puede tratarse de escorias fayalíticas de bajo punto de fusión, lo que habría permitido una buena fluidez de la escoria y su sangrado del horno. Además, en algunos casos destaca el bajo contenido en cobre de estas escorias que es inferior al 0,5% Cu (González de Canales *et al.* 2004: 151, muestras nº 1 y nº 3-5) y, si

atendemos al criterio de clasificación de las escorias de cobre propuesto por Rothenberg y Blanco (1981: 132), debería revisarse su interpretación como materiales vinculados a este tipo de metalurgia.

Contemporáneas a las escorias encontradas en las excavaciones de la C/Méndez Núñez en Huelva son dos fragmentos procedentes del yacimiento malagueño de La Rebanadilla, cuyos materiales arqueometalúrgicos están en proceso de estudio en nuestros laboratorios (Laboratorios I+D de Arqueología del CCHS-CSIC, Madrid). Recientemente, se han realizado análisis preliminares de algunos de los restos; se trata de dos pequeños nódulos de escoria cuyas superficies son irregulares y presentan manchas de sales de cobre, alguna oxidación ferruginosa e incrustaciones terrosas.¹

La matriz de estas muestras corresponde a un vidrio con un contenido apreciable de cobre, y en un caso también de zinc, en el que se han formado cristales de feldespato. Son muestras ricas en sílice libre, con abundante presencia de magnetita y numerosas inclusiones metálicas de distinto tamaño; la mayoría de ellas son de cobre, a menudo con hierro, y en una de las escorias se han analizado varios segregados de plata. Se han detectado también algunas bolas metálicas bifásicas de cobre con algo de estaño que presentan un halo externo compuesto por sulfuro de cobre y hierro.

La microestructura, la composición de las fases minerales y de las inclusiones metálicas de estas escorias nos están indicando que se trata de subproductos resultantes de la obtención primaria de cobre. Se estaban utilizando minerales de cobre ricos en plata, un elemento que aparece tanto en las escorias –se han detectado inclusiones de cobre con segregados de plata también en una escoria de bronce, de la que se hablará más adelante– como en algunos de los objetos analizados: por ejemplo, un fragmento de lingote presenta aproximadamente un 1% Ag y dos láminas de bronce tienen un 0,1-0,2% Ag.

De la colonia focense de Ampurias (L'Escala, Girona), también se han analizado dos fragmentos de escorias de cobre procedentes de la Neápolis (Renzi *et al.* 2008). Se trata de dos nódulos de aspecto irregular, que presentan adherencias terrosas y

¹ Quiero agradecer a Vicente M. Sánchez y a Lorenzo Galindo de Arqueoestudio la posibilidad de estudiar los materiales arqueometalúrgicos procedentes de las excavaciones de La Rebanadilla. Se ha realizado un informe preliminar de estudio –RENZI, M. y MONTERO RUIZ, I. inédito: *Estudio analítico de los materiales arqueometalúrgicos procedentes del yacimiento de La Rebanadilla (Málaga)*– de una selección de muestras y en esta Tesis se mencionan algunos de los resultados analíticos obtenidos.

eflorescencias de sales de cobre en la superficie. En ambos casos la matriz corresponde a un vidrio rico en hierro con algo de cobalto, en el que se han concentrado cristales tabulares y dendritas muy bien desarrolladas de magnetita. Hay abundantes inclusiones metálicas de cobre con algo de hierro y cobalto.

La presencia de estos elementos en la matriz de la escoria y en las inclusiones metálicas analizadas, así como la presencia de cristales de sulfuro de cobre con hierro, parecen sugerir que se trate de impurezas del mineral original; además, no es habitual encontrar cantidades significativas de cobalto en los objetos de metal, por tanto no podría tratarse de nódulos de escoria de reciclado sino de escorias resultantes de operaciones extractivas de cobre o, posiblemente, de afino de metal.

Se muestra un diagrama ternario de fases $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$ (Fig. 4.8) en el que se han representado las distintas composiciones globales de las escorias encontradas en los yacimientos del Cinturón Ibérico de Piritas y en las excavaciones de la C/ Méndez Núñez en el casco antiguo de Huelva, según los resultados analíticos proporcionados por sus autores. Se muestran además las composiciones de las escorias recogidas en La Rebanadilla y en Ampurias, de acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro laboratorio.

En el caso de las escorias encontradas en las zonas mineras de la provincia de Huelva, es decir en los yacimientos del Cinturón Ibérico de Piritas –que en el gráfico corresponden a los puntos rojos–, se trata de materiales con un contenido muy elevado de sílice y de hierro pero con una ausencia casi total de calcio. Todas estas muestras se sitúan en regiones de elevadas temperaturas, a partir de la región de la tridimita, implicando temperaturas teóricas de hasta 1700°C . A pesar de que, como ya se ha mencionado anteriormente, es evidente que el nivel tecnológico de la metalurgia antigua no permitía alcanzar temperaturas tan elevadas y que por tanto hay que considerar esta información como puramente indicativa, el gráfico nos indica que la composición de estas escorias es incompatible con su interpretación como escorias de sangrado.

Las escorias de la C/ Méndez Núñez de Huelva, que corresponden en el gráfico a los puntos azules, presentan una situación parecida y se caracterizan por una especial riqueza en sílice que en algunos casos puede hacer dudar de su naturaleza como escorias propiamente dichas. Por tanto, se concentran hacia el vértice superior del diagrama, en

una zona de temperaturas teóricas de más de 1700°C, un hecho que, de nuevo, resulta incompatible con su supuesta naturaleza de escoria de sangrado.

La composición de las escorias de la Rebanadilla, representadas en el gráfico con los cuadrados verdes, y de Ampurias, correspondientes a los cuadrados morados, tampoco varía mucho comparada con las de los materiales anteriormente descritos. Nos encontramos de nuevo ante escorias teóricamente situadas en regiones térmicas de entre 1500°C y 1700°C. En las escorias malagueñas hay un exceso de sílice en forma de granos no disueltos e insuficiencia de hierro, mientras que en las de Ampurias –que se acercan a regiones de temperaturas ligeramente inferiores– la mayor parte del hierro presente en el sistema, como en la muestra F11103 de La Fonteta, está en forma de magnetita, impidiendo la reacción del hierro con la sílice para formar fayalita.

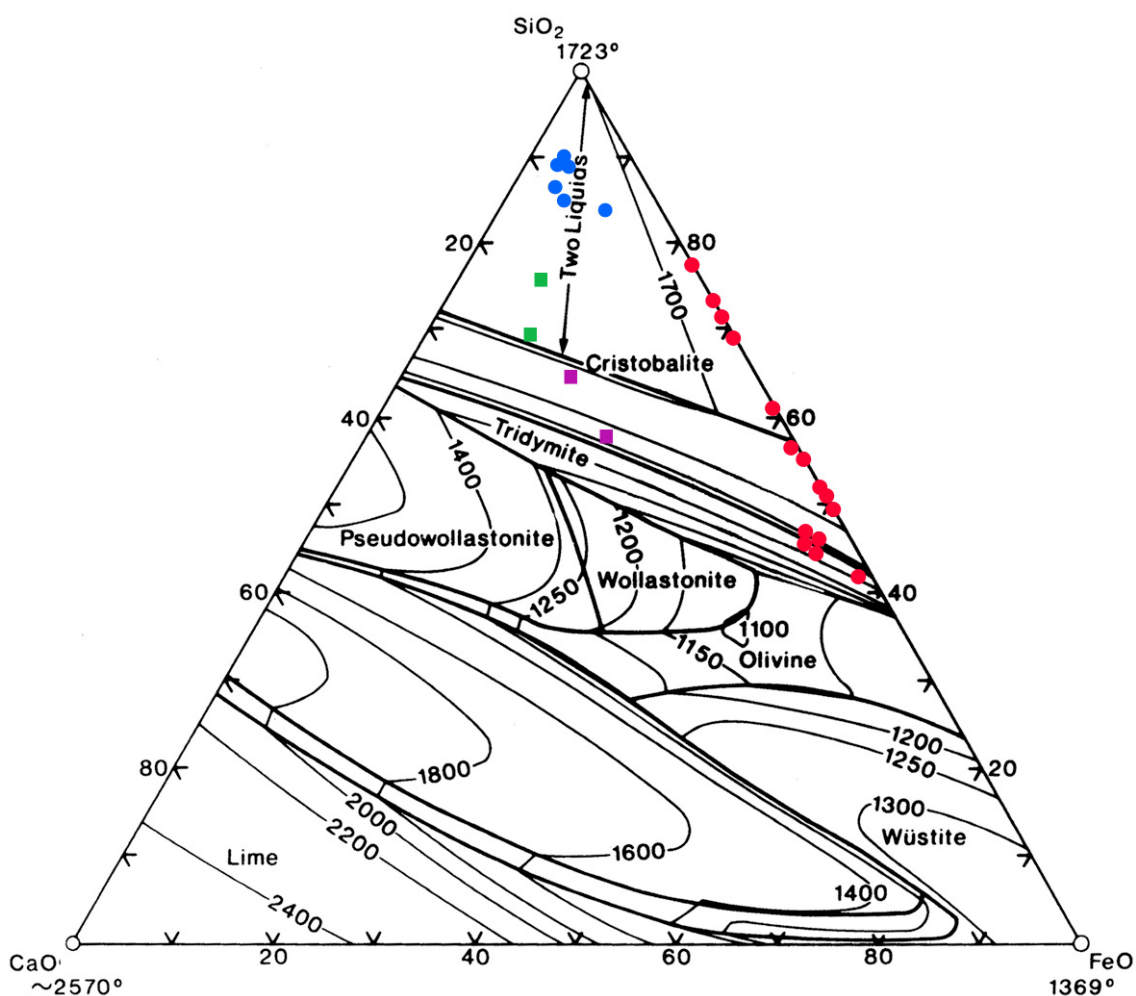


Fig. 4.8. Diagrama ternario de equilibrio de fases $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$ en el que se representan los puntos correspondientes a las composiciones globales de algunas escorias de cobre de yacimientos del Cinturón Ibérico de Piratas (puntos rojos), de la C/Méndez Núñez de Huelva - Plaza de las Monjas (puntos azules), de La Rebanadilla (cuadrados verdes) y de Ampurias (cuadrados morados).

En resumen, todas las escorias analizadas que pueden ser asignadas a la época objeto de esta Tesis presentan características similares –y las de La Fonteta no representan una excepción– es decir responden al tipo de tecnología metalúrgica que se ha definido “primitiva” (Hauptmann 2003). Se trata de escorias con abundante sílice sin disolver y, en la mayoría de los casos, con insuficiencia de hierro; no han llegado a fundir y, por tanto, su elevada viscosidad hace que retengan mucho metal. De acuerdo con las fases estructurales observadas en las escorias (zonas con formación de magnetita tabular y/o dendrítica, delafosita, relictos de mineral, etc.), las condiciones redox no eran estables y todo indica que se trata de escorias de reducción de cobre resultantes de operaciones metalúrgicas llevadas a cabo en estructuras de combustión de tipo abierto o en vasijas de reducción.

4.2 LA METALURGIA DEL BRONCE

Los primeros testimonios de la aparición del bronce en la Península Ibérica se remontan a un determinado momento del Campaniforme, sin posibilidad de definirlo con más precisión debido a que la información arqueológica y analítica es todavía escasa (Rovira Llorens 2005b). Es a finales del Calcolítico-comienzos de la Edad del Bronce cuando se documenta el primer objeto de cobre-estaño, un punzón procedente de Guidoiro Areoso (Vilanova de Arousa, Pontevedra) fechado aproximadamente en la mitad del III milenio cal AC (Comendador Rey 1998: 84), aunque su origen es todavía discutido. Hay que trasladarse a la zona de Cataluña, precisamente al yacimiento de Bauma del Serrat del Pont (Tortellà, Girona), para encontrar los primeros claros subproductos de operaciones metalúrgicas para la producción de bronce (Rovira Llorens 2002: 92-93). Se trata de un nódulo cobrizo que corresponde a un resto de fundición de cobre-estaño y un fragmento escorificado de vasija de reducción fechados en el 2560-1975 cal AC (Alcalde *et al.* 1998). Por tanto, a pesar de la introducción novedosa de una aleación metálica que mejoraba las cualidades mecánicas del producto final respecto al cobre sin alear, el método de obtención de bronce seguía siendo el mismo que se había empleado para producir cobre en épocas anteriores. De hecho, las vasijas de reducción –cuyas características morfológicas se describirán en otro capítulo (Cap. 8)– siguieron utilizándose hasta por lo menos la Edad del Hierro.

Los restos metalúrgicos procedentes de la Bauma del Serrat serían pues los testimonios más antiguos de producción deliberada de bronce en la Península Ibérica (Rovira Llorens 2002: 93). A partir de este momento, la nueva tecnología se va difundiendo gradualmente de Norte a Sur, alcanzando el Sur peninsular en una fase ya bien asentada de la cultura argárica (Rovira Llorens 2004: 23). Y la primera escoria de bronce propiamente dicha –es decir que no corresponde a una escorificación de vasija de reducción– procede de un contexto del Bronce Medio y corresponde a pequeño nódulo encontrado en el Abrigo de la Dehesa (Miño de Medinaceli, Soria), aunque su estudio analítico sugiere que no se trata de un subproducto de la reducción de minerales, sino de una escoria formada en un crisol en el que se estaba fundiendo un bronce al estaño-antimonio obtenido previamente en otra estructura metalúrgica (Rovira Llorens 2007: 27-20).

Para el Bronce Final, que corresponde a la etapa de mayor difusión del bronce, tenemos poca información detallada de la tecnología empleada para producir las aleaciones cobre-estaño (bronces binarios) y, a partir de un determinado momento de esta fase, también las aleaciones ternarias cobre-estaño-plomo. Los hallazgos de materiales arqueometalúrgicos relacionados con la producción de bronce son todavía escasos y, en la mayoría de los casos, los correspondientes estudios analíticos son poco exhaustivos. A este propósito, hay que hacer notar también la escasez de hallazgos de estaño metálico realizados hasta la fecha en comparación con la abundante producción de objetos de bronce documentada a lo largo de la Prehistoria.

Los primeros testimonios del uso de estaño metálico en el Mediterráneo oriental, tanto en forma de lingotes como de objetos acabados, se remontan aproximadamente a la mitad del II milenio a.C. El conocido descubrimiento de lingotes de estaño del cargamento del pecio de Uluburun, en el Sur de Anatolia –aunque su cronología sigue siendo discutida– ha sido fechado por muchos autores dentro del Bronce Final chipriota, en el 1600-1050 a.C. (Kassianidou 2003: 115), mientras que en Europa, sin querer ser exhaustivos, en la región del Danubio se han encontrado algunas cuentas de collar de estaño que podrían fecharse en la primera mitad del II milenio a.C. (Primas 2003: 89). También en Cerdeña se han encontrado algunos fragmentos de estaño bruto en contextos del Bronce Final (Lo Schiavo 2005: 377-381), y en la Península Ibérica se han recogido tres cuentas de collar de estaño en Mongofre Nou (Menorca) posiblemente fechadas en los siglos IX-VIII cal AC (Montero Ruiz *et al.* 2005: 296), y un fragmento

de lámina de estaño procede de los niveles del siglo IX a.C. de las excavaciones en la C/Méndez Núñez - Plaza de las Monjas de Huelva (González de Canales *et al.* 2004).

Sin embargo, la cronología de los primeros hallazgos de estaño metálico no coincide con las más antiguas evidencias arqueológicas de la producción de bronce. Por ejemplo, en las Islas Británicas los primeros bronce han sido atribuidos a la segunda mitad del III milenio a.C., concretamente al 2300-2200 a.C. (Needham 1996: fig. 2), y también en la Península Ibérica se han documentado objetos de bronce de finales del III milenio a.C. (Alcalde *et al.* 1998: 95-97). Por tanto, se ha supuesto que el estaño necesario para la fabricación de esta aleación –que según Yener (2000) en Anatolia se remonta al IV milenio a.C.– inicialmente podría haber circulado, al igual que el cobre y el plomo, como mineral, con toda probabilidad casiterita.

En el Mediterráneo occidental y en el océano Atlántico se conoce un comercio de lingotes de estaño desde principios del I milenio a.C., como nos indican el pecio de Salcombe (Devon, UK)², fechado en el siglo X-IX a.C., o el pecio fenicio del Bajo de la Campana, en Cabo de Palos (Cartagena, Murcia), fechado a finales del siglo VII-principio del siglo VI a.C. (Mederos y Ruiz Cabrero 2004: 269).³ Sin embargo, hasta ahora las evidencias para un posible comercio de mineral de estaño son muy escasas y su interpretación todavía discutida. A este propósito, merece pues una mención el descubrimiento de unos supuestos fragmentos de casiterita en el cargamento del pecio de Cabo Gelidonya, encontrado en las costas de Turquía meridional y fechado a finales del II milenio a.C. (Bass 1967). Se trata de varios kilos de material blanquecino compuesto por estaño y carbonatos –en particular por un 14% Sn y un 71% CaCO₃ (Bass 1961: 273)– cuyo hallazgo llevó J.A. Charles (1978) a sugerir que la producción de bronce se podría haber obtenido por cementación de cobre metálico con casiterita (Rovira Llorens 2007), un método del cual se hablará más adelante. Por el contrario otros autores, como por ejemplo Tylecote (1976: 15), consideran que estos materiales corresponden a fragmentos de lingotes de estaño oxidados y no a restos de mineral, aunque sería oportuno reanalizarlos para poder aclarar la cuestión.

Con respecto a la Península Ibérica, recientemente se han encontrado algunos pequeños fragmentos de casiterita, junto con numerosos nódulos de galena, dentro del

² <http://www.archaeology.org/1005/etc/artifact.html>

³ Para más información vease la siguiente Web del *Institute of Nautical Archaeology*: http://inadiscover.com/projects/all/southern_europe_mediterranean_aegean/bajo_de_la_campana_wrecks_spain/introduction/

ya mencionado pecio fenicio del Bajo de la Campana, en Murcia⁴. Aunque por el momento no se ha podido cuantificar la cantidad total de mineral de estaño transportado en ese barco debido a que las investigaciones en la zona y el análisis de los materiales están todavía en proceso de estudio –además, como sugiere uno de los excavadores, no se puede excluir que se trate de un resto aislado que constituiría el remanente de un cargamento anterior⁵– la importancia de este hallazgo es indudable ya que constituye la única evidencia en el territorio peninsular del comercio de casiterita en la primera mitad del I milenio a.C.

En resumen, aunque las evidencias son poco copiosas, la presencia de distintos elementos de estaño metálico y la abundante producción de bronce hacen suponer que se llevaron a cabo operaciones de reducción de minerales de estaño para la obtención de este metal pero, actualmente, esta reflexión choca con la realidad arqueológica. En efecto, son asombrosamente escasas las evidencias de producción de estaño y del todo desconocidas las supuestas estructuras de combustión utilizadas para este fin.

La mayoría de los hallazgos de escorias de estaño no presentan un claro contexto arqueológico de procedencia o su cronología e interpretación son todavía discutidas (Rovira Llorens 2007; Rovira Llorens *et al.* 2009). Entre los pocos descubrimientos merece la pena mencionar el del poblado metalúrgico de Göltepe, en Anatolia, fechado en el III milenio a.C. y situado a 2 km de la zona minera de Kestel. Allí se recogieron abundantes restos de polvo de casiterita y numerosos fragmentos cerámicos con escorificaciones internas ricas en estaño que se han relacionado con la obtención de este metal por reducción de la casiterita (Yener *et al.* 2003: 182-185). Las escorias resultantes de estos procesos de obtención de estaño en vasijas metalúrgicas habrían sido machacadas para separar el metal.

Abundantes fragmentos de escoria de estaño fueron recogidos en dos yacimientos de la Bretaña francesa, en St. Renan-Kervéatous (Finistère) y en Limerzel (Vieille Ville), cuya explotación está fechada radiocarbónicamente a finales del Bronce Medio-comienzos del Bronce Final (Giot y Lulzac 1998). El análisis de estas escorias indica

⁴ Quiero agradecer a Mark Polzer y Juan Pinedo Reyes, directores del proyecto de excavación y estudio de dicho pecio, la posibilidad de utilizar estos novedosos datos para la presente Tesis. Asimismo, quiero dar las gracias a Marta Santos Retolaza, coordinadora del Museu d'Arqueologia de Catalunya de Ampurias (MAC Empúries), y a Xavier Nieto Prieto, director del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (Arqua) de Cartagena, por habernos hecho llegar los fragmentos de casiterita para su análisis en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC.

⁵ Comunicación personal de Mark Polzer.

claramente que se trata de subproductos resultantes de la reducción de casiterita para obtener estaño (Mahé-Le Carlier *et al.* 2001). El estado de fragmentación de estos materiales ha sugerido a sus autores que las escorias eran machacadas para poder extraer el metal que contenían, según un proceso que ya ha sido propuesto para las escorias de Göltepe (Yener *et al.* 2003: 182-185).

También las escorias de Caerloggas (Cornualles, Inglaterra), datadas hacia el 1600 a.C., responden a este tipo de metalurgia (Salter 1997). Y en todos los casos en los que hay análisis de laboratorio de las escorias se aprecian elevadas pérdidas de estaño en forma de óxido de estaño (casiterita), que pueden alcanzar el 50% SnO₂ (Rovira Llorens 2007).

Una vez analizado el estado de la cuestión de las más antiguas evidencias para la producción de estaño y de bronce, habría que mencionar brevemente cuáles son los posibles métodos de obtención para esta aleación de cobre con estaño.

Una manera de obtener bronce –que corresponde al método actual de producción y que parece haber sido utilizado en algún momento también por los antiguos metalúrgicos (Rovira Llorens 2007)– prevé la fundición en un crisol de cobre y estaño en forma metálica; otra manera de obtenerlo es la cementación, es decir la fundición de pequeñas fracciones de cobre metálico con mineral de estaño triturado, principalmente casiterita, que en un ambiente reductor, si las condiciones del horno lo permiten, se transforman en metal aleándose con el cobre (Charles 1978); un tercer método de obtención es la co-reducción en una estructura de combustión de minerales de cobre con minerales de estaño en la que, si se alcanzan las temperaturas necesarias y el ambiente de trabajo es suficientemente reductor, se logra la formación de la aleación como en los dos casos anteriormente descritos (Read 1934; Rovira Llorens 2007: 21-22).

Las evidencias arqueometalúrgicas disponibles hasta la fecha parecen indicar que en la antigüedad se podrían haber utilizado los tres distintos métodos de obtención de bronce aunque, como se verá más adelante, en el estado actual de la investigación la opción de la mezcla de cobre y estaño metálicos está escasamente documentada y se necesita un muestreo más amplio para confirmar su uso. Por tanto, la co-reducción y la cementación parecen ser los procesos productivos más comúnmente usados, y tanto la arqueología como la arqueometalurgia proporcionan datos suficientemente válidos para apoyar esta hipótesis. El uso de estas dos técnicas explicaría también la casi total ausencia de escorias de estaño en el Bronce Final-primera Edad del Hierro en la

Península Ibérica (y también en otras regiones), donde sólo a partir de la segunda Edad del Hierro se empiezan a tener evidencias de obtención de estaño a partir de casiterita, como nos demuestra el estudio de las escorias procedentes del yacimiento portugués de Carvalhelhos, en Concejo de Boticas (Maia 1965-1968). De hecho, tampoco el yacimiento del Bronce Final del Cerro de San Cristóbal (Logrosán, Cáceres) (Rodríguez *et al.* 2001) –situado en la Sierra de Guadalupe en la que se conocen abundantes recursos de estaño– ha proporcionado claras evidencias del aprovechamiento de casiterita. En la zona minera se han realizado varios hallazgos superficiales de materiales líticos relacionados con la explotación antigua pero no se ha podido determinar su cronología exacta; se han documentado fragmentos cerámicos atribuibles a la ocupación prehistórica del Cerro pero todavía queda por aclarar si hubo una explotación de los filones locales en el Bronce Final (Merideth 1998), ya que en el yacimiento arqueológico sólo se ha encontrado un fragmento de vasija de reducción en la que se estaba produciendo una aleación de bronce por cementación de cobre metálico con casiterita (Rodríguez *et al.* 2001: 29-42).

4.2.1 Las escorias de bronce de La Fonteta

El yacimiento de La Fonteta ha proporcionado varios fragmentos de escorias de bronce. En general se trata de pequeños nódulos o fragmentos amorfos de escoria de unos 2-3 cm de tamaño, aunque se han documentado también ejemplares de mayores dimensiones que suelen presentar forma plano-convexa o de tendencia convexa (Fig. 4.9).



Fig. 4.9. Escoria de bronce F41539-1 procedente de La Fonteta.

Las superficies son irregulares, de textura y aspecto heterogéneos, con abundantes manchas de sales de cobre e incrustaciones terrosas; en algunas ocasiones el fondo de la escoria puede presentar capas de material arcilloso adherido lo cual sugiere que se han formado en el interior de una cubeta arcillosa. Frecuentemente en la fractura fresca se observan inclusiones metálicas a simple vista y un material de textura compacta. Estas escorias no suelen presentar ferromagnetismo.

De las escorias recogidas en el yacimiento se han seleccionado once muestras para su estudio analítico por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX). Los resultados obtenidos se presentan organizados en fichas individuales en el Anexo a esta Tesis.

Tres de las escorias seleccionadas proceden de los niveles de uso de algunas estructuras habitacionales: un fragmento ha sido recogido en el Corte 14 y dos en el Corte 5, perteneciendo cada uno a una fase distinta del yacimiento. El que procede del Corte 14 (F11065) se fecha dentro de la fase III, mientras que los dos del Corte 5 pertenecen en un caso (F31034) a la fase II y en el otro (F31115) a la fase IV.

El resto de las escorias analizadas procede de los niveles de vertido de la zona metalúrgica del Corte 54-1; se han atribuido todos a la fase II, a excepción de un único fragmento que ha sido asignado al nivel más arcaico de La Fonteta (fase I).

Desde el punto de vista analítico, en la mayoría de los casos estas muestras presentan una microestructura heterogénea y compleja, y sus fases constituyentes no son de tipo fayalítico. En algunas de ellas la matriz corresponde a un material fundido (vidrio) pobre en hierro y con elevados contenidos de calcio y, según los casos, con cantidades apreciables de plomo, cobre y estaño. Otras presentan una microestructura más heterogénea y la matriz está formada por distintas fases con formaciones de un silicato rico en calcio y aluminio, del tipo de la melilita o de la alumoakermanita.

En la gran mayoría de las muestras estudiadas se han detectado también cristales de materiales ricos en sílice, calcio y magnesio en distintas proporciones, con composiciones que se aproximan a las de la akermanita o de la hedenbergita, o compuestos de tipo feldespático como la anortita. A menudo se observan granos de sílice y de calcita parcialmente disueltos o todavía sin reaccionar que en parte podrían corresponder a contaminación del medio. Sólo en una escoria (F41698-3) se ha detectado magnetita, tanto en forma dendrítica como en cristales tabulares (Fig. 4.10).

En prácticamente todas las escorias analizadas se han encontrado formaciones, generalmente de forma globular o poligonal, de un silicato complejo de calcio-estaño y, en menor medida, también de unos cristales formados sólo por óxido de calcio-estaño (y que a partir de ahora, en ambos casos, se denominarán “compuestos Ca-Sn”; Fig. 4.11).

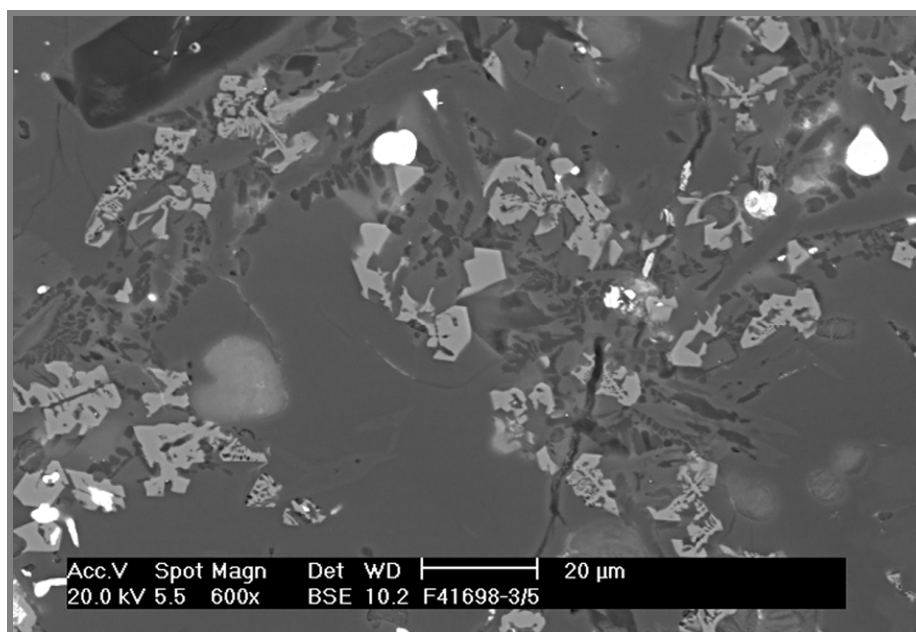


Fig. 4.10. La Fonteta, escoria de bronce F41698-3. Zona en la que se aprecian cristales de magnetita; las inclusiones blanquecinas son de plomo. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

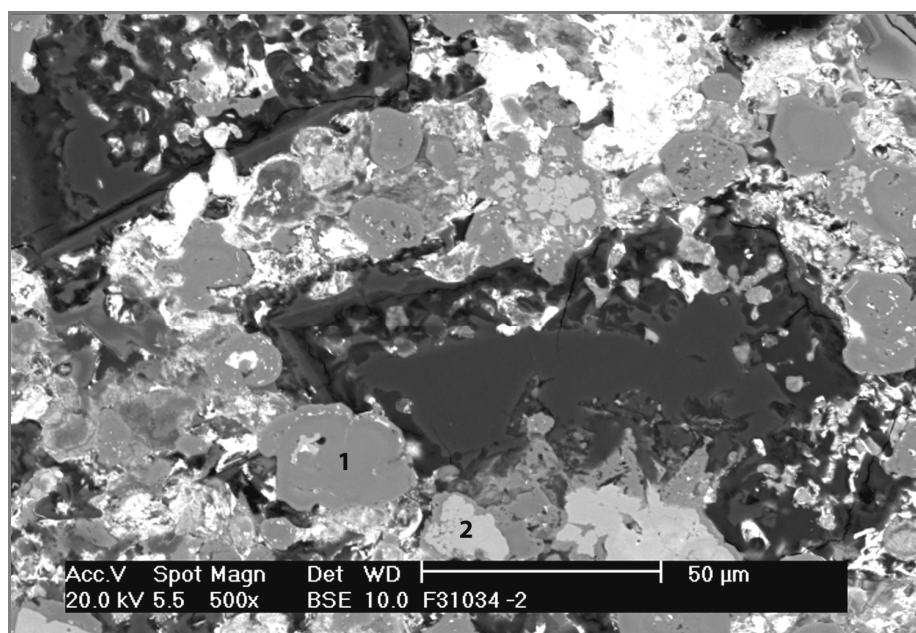


Fig. 4.11. La Fonteta, escoria de bronce F31034. Hay abundantes formaciones de compuestos Ca-Sn. Los más oscuros (1) corresponden a los silicatos de Ca-Sn, y los más blanquecinos (2) a los que no presentan sílice. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Únicamente en las muestras F11065 y F41708-1 no se han detectado estas formaciones aunque en la primera abundan los cristales idiomorfos de casiterita.

No se han encontrado restos de estaño metálico y en cambio se aprecia la presencia de numerosas inclusiones de base cobre y de plomo que suelen presentar composiciones muy distintas entre ellas, incluso dentro de la misma muestra. Se han analizado también inclusiones de bronce ternarios altamente plomados y pobres en estaño, inclusiones de cobre y plomo puros (es decir, sin impurezas detectables por SEM-EDX), de cobre-plomo y de bronce con contenidos especialmente elevados de estaño. Y con respecto a estas inclusiones de bronce, hay que destacar que se han detectado sólo en cuatro de las muestras estudiadas mientras que en el resto de los casos el estaño presente en el sistema se ha perdido en la escoria.

Entre los materiales analizados, destaca la presencia en la muestra F41716-3 de una inclusión metálica con una composición distinta a las anteriormente mencionadas, correspondiente a una matriz de cobre-plomo con algo de bismuto y hierro. Además, en la misma escoria se ha detectado una fase mineral de silicato de cobre con un contenido apreciable de plomo que se ha interpretado como un posible relicto de mineral (crisocola deshidratada; Fig. 4.12).

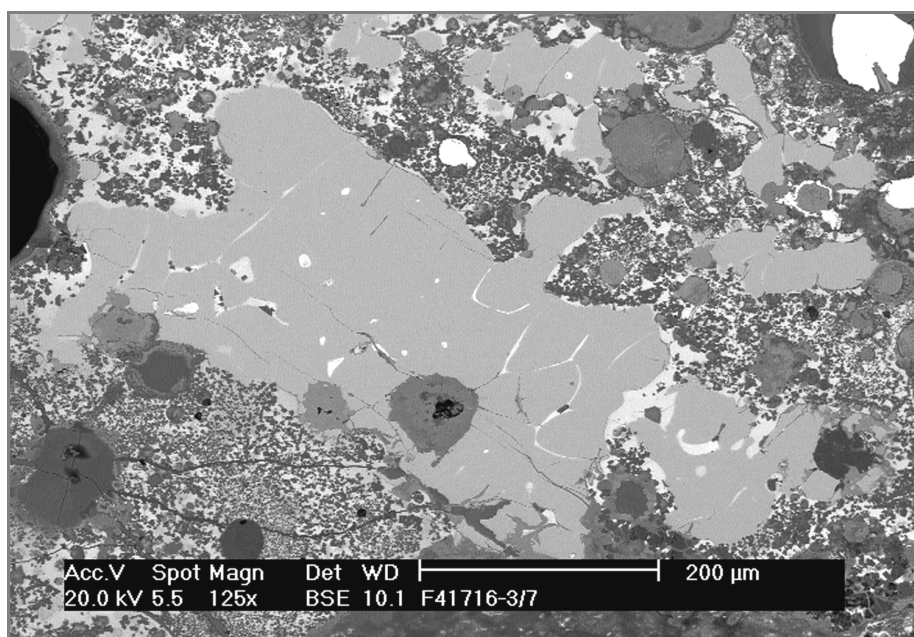


Fig. 4.12. La Fonteta, escoria de bronce F41716-3. Posible relicto de mineral correspondiente a un silicato de cobre con segregados de plomo, probablemente un resto de crisocola deshidratada. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Asimismo, en dos de las escorias examinadas se han detectado inclusiones metálicas con composiciones complejas. En un caso (F41698-3) las inclusiones presentan una matriz de cobre con contenidos variables de níquel, arsénico, hierro, estaño y plomo, y en el otro (F41762-2) se han analizado inclusiones de hierro con níquel, estaño, plomo y cobalto, y un compuesto intermetálico que presenta una estructura eutéctica que contiene hierro, cobalto y níquel con calcio, silicio y otros constituyentes menores (Fig. 4.13).

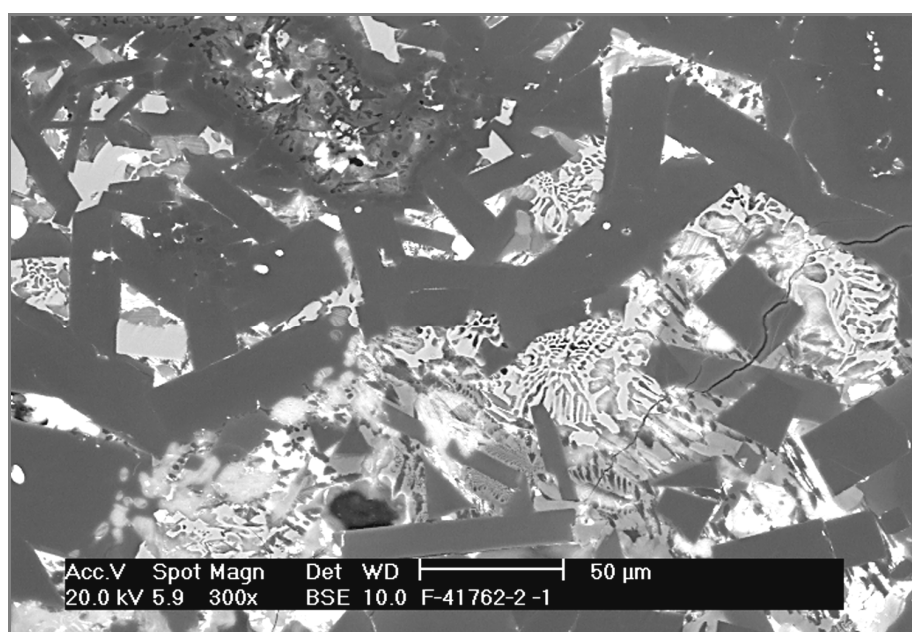


Fig. 4.13. La Fonteta, escoria de bronce F41762-2. Compuesto intermetálico con estructura de eutéctico formado principalmente por óxido de hierro y otros metales. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

4.2.2 Estudio comparativo y discusión

S. Rovira Llorens (2007) ha estudiado detalladamente algunas escorias de bronce contemporáneas a las que se presentan en este estudio, y los resultados analíticos obtenidos nos proporcionan válidos elementos comparativos para determinar mediante qué tipo de operación metalúrgica se han producido los materiales escoriáceos procedentes de La Fonteta.

Dos escorias encontradas en el yacimiento de El Castro de Gusendo de los Oteros (León) –atribuidas a la fase de transición Bronce Final-Edad del Hierro– tienen alguna característica parecida; se trata de dos fragmentos aplanados de escaso grosor, con las superficies vidriadas y varias inclusiones metálicas evidentes a simple vista. La matriz fundida está constituida principalmente por una fase piroxénica y una feldespatoide. Se han detectado cristales de silicato de Ca-Sn, similar al que se ha encontrado en las

escorias de La Fonteta, generalmente situados en zonas con mucha casiterita (Rovira Llorens 2007: 29-30).

La presencia en las escorias leonesas de cobre metálico con impurezas de plomo y la ausencia de plomo en las fases minerales de la escoria ha sugerido al autor que el cobre plomado podría haber entrado en el sistema como metal y no como mineral, además la abundancia de casiterita y la falta de estaño metálico sugieren que éste último haya sido añadido como óxido, se trataría por tanto de un proceso de cementación de cobre plomado con casiterita (Rovira Llorens 2007: 31).

Silicatos de Ca-Sn han sido analizados también en un fragmento escorificado de vasija de reducción procedente de Santa María de Matallana (Villalba de los Alcores, Valladolid), hallado en un contexto arqueológico del Bronce Antiguo. En este caso la formación de silicatos con cobre y arsénico sugería que el cobre ingresó en el sistema como mineral, y no como metal; además, la abundante presencia de casiterita, junto con otros elementos, parecía indicar que esta escorificación era el subproducto de un proceso de obtención de bronce por co-reducción de minerales de cobre arsenical y de estaño (Rovira Llorens 2007: 26-27).

Un fragmento de escoria de bronce contemporáneo a las escorias de El Castro, procede del yacimiento portugués de Castro da Senhora da Guia de Baiões (Viseu). Se trata de un pequeño nódulo de poco más de 1 cm de tamaño; su análisis por SEM muestra una microestructura heterogénea, con una matriz fundida que corresponde a un vidrio (Figueiredo *et al.* 2010). Se han detectado numerosas inclusiones de malaquita, cuprita y cobre metálico y, en algunos casos, también de plomo metálico; hay abundante presencia de cristales aciculares de casiterita y de magnetita.

A pesar de que los autores no hayan avanzado ninguna hipótesis definitiva sobre su posible interpretación como material resultante de una operación de producción primaria o secundaria de bronce –debido a las reducidas dimensiones del fragmento y a las condiciones redox generalmente muy variables dentro de las estructuras de combustión antiguas de tipo abierto, que consideran podrían no ser representativas de la naturaleza del material escoriáceo original–, se inclinan por clasificar esta escoria como subproducto de una operación de co-reducción de minerales de cobre y estaño. La presencia de inclusiones de malaquita en zonas de la muestra en la que no se han detectado productos de corrosión –como en el caso de una malaquita totalmente rodeada de un halo de cuprita–, podría sugerir que no se trata de productos de oxidación

secundaria, sino más bien que la malaquita correspondería a un resto del mineral original (Figueiredo *et al.* 2010: 1628).

Otro pequeño fragmento de escoria de bronce procede de los niveles de finales del siglo IX-VIII a.C. del yacimiento fenicio de La Rebanadilla en provincia de Málaga. La muestra presenta una microestructura muy heterogénea y la matriz fundida está constituida por un vidrio al estaño con algo de plomo. En algunas zonas se han detectado numerosos cristales aciculares de delafosita y cristales tabulares de magnetita, indicando que en el horno el ambiente de trabajo a veces fue oxidante. También hay abundante presencia de óxido de estaño cristalizado (casiterita), tanto en forma de glóbulos como en forma de agujas. Se han analizado cristales de cobre con estaño y algo de hierro –con porcentajes de estaño del orden del 2-3% Sn y contenidos de hierro que rondan el 1% Fe– y distintas inclusiones metálicas redondas de cobre sin alear que en algunos casos presentan segregados de plata. También se han detectado varias inclusiones de bronce, con contenidos muy elevados de estaño, de entre 25% y 40% Sn.

Estaríamos pues de nuevo ante una escoria resultante de la co-reducción de minerales de cobre con casiterita; además, la presencia de cobre con plata y los porcentajes aunque bajos de hierro y plomo detectados en distintas formaciones de la muestra, indican que la composición del mineral de cobre empleado para producir bronce coincide con la del mineral usado para la producción de cobre en las escorias procedentes del mismo yacimiento, y de las cuales ya se ha hablado en el apartado correspondiente dedicado a las escorias de cobre, en este mismo capítulo.

También en las excavaciones llevadas a cabo en el casco antiguo de Carmona (Sevilla), concretamente en los niveles orientalizantes de Plaza del Higueral se ha recogido un fragmento de escoria de bronce. En este caso, de acuerdo con su estudio analítico, esta muestra ha sido interpretada como un posible testimonio de un proceso de obtención de bronce a partir de cobre y estaño metálicos (Rovira Llorens 2007: 32-33) aunque su interpretación, como veremos más adelante, podría ser discutida.

La matriz fundida es de tipo piroxénico; la muestra presenta abundantes granos de sílice sin reaccionar y en algunas microrregiones de la escoria más ricas en óxido de hierro se han formado cristales de fayalita. No se ha detectado casiterita y hay numerosas bolitas de metal atrapadas en la matriz, la mayoría de ellas afectada por fenómenos de corrosión por oxígeno o cloruro. Como en los casos anteriormente mencionados, sus composiciones son variables, habiéndose analizado inclusiones de

cobre puro y otras de bronce. El contenido especialmente elevado en estaño de algunas perlas metálicas ha llevado el autor a descartar la posibilidad de que se trate de una escoria de refundición de chatarra; unas composiciones de bronce tan ricos en estaño (en algunos casos fases épsilon, con más del 30% Sn) no son compatibles con la bronceística del periodo orientalizante (Montero Ruiz *et al.* 2003; Rovira Llorens *et al.* 2005). Por tanto, ante la falta de evidencias que sugieran el uso de minerales, considera que la interpretación más plausible sería la mezcla de cobre y estaño a partir de metales para formar bronce (Rovira Llorens 2007: 30-33).

Otro ejemplo de este método de obtención de bronce, aunque sus características microestructurales y composicionales en parte son distintas, ha sido documentado en el mismo yacimiento de La Fonteta y corresponde a una escorificación adherida a un fragmento de vasija de uso metalúrgico, del cual se hablará en el capítulo correspondiente (Cap. 8).

Asimismo, de la Edad del Hierro se ha estudiado un pequeño fragmento de escoria recogido en el yacimiento de Sant Jaume-Mas d'en Serra (Alcanar, Tarragona). Esta muestra presenta una matriz piroxénica con numerosas inclusiones metálicas de cobre y bronce y abundante casiterita cristalizada, en algunos casos con un núcleo de cobre metálico. El metal atrapado en la escoria tiene composiciones variables, correspondiendo a cobre con impurezas de plomo y a bronce con proporciones variables de estaño. Como para las escorias de Gusendos de los Oteros, esta variabilidad composicional de las inclusiones metálicas, junto con la ausencia de relictos de mineral de cobre-plomo, indicaría que se trata de un resto obtenido en un proceso de cementación de cobre con casiterita (Rovira Llorens 2007: 30-31).

Información comparativa de suma utilidad para la interpretación de los materiales procedentes de La Fonteta nos ha sido proporcionada también por la arqueometalurgia experimental. Rostoker y Dvorack (1991), entre otros, ya demostraron que la co-reducción de minerales era posible en estructuras de fuego sencillas que imitaran las instalaciones prehistóricas.

Más recientemente, también con el fin de comprobar las posibilidades de la co-reducción utilizando medios próximos a los supuestamente empleados en la Prehistoria, S. Rovira Llorens realizó un experimento mezclando 1.200 g de un mineral complejo de cobre (con algo de bismuto y plomo) y 200 g de casiterita. Los detalles de la

infraestructura y de los distintos pasos del experimento, así como los datos de los análisis de laboratorio se encuentran en Rovira Llorens *et al.* (2009).

En la vasija utilizada para la operación se formó una masa escoriácea en cuya superficie podían apreciarse a simple vista algunas gotas metálicas, aunque la mayor parte del metal obtenido había quedado retenido en la escoria. De hecho, fue necesario romper el crisol para extraer la escoria que fue machacada para separar el resto del metal.

El estudio analítico de distintos fragmentos de esta escoria indica que la matriz fundida corresponde a un silicato complejo (vidrio) en el que frecuentemente se han formado wollastonita y piroxenos. Pero el elemento de mayor interés es la formación en estas escorias de los ya mencionados silicatos de Ca-Sn y de los cristales de Ca-Sn; además se ha observado una abundante presencia de óxido de estaño idiomorfo cristalizado en forma de pequeños glóbulos y, en ocasiones, también se han identificados relictos intactos de la casiterita original.

Los compuestos de Ca-Sn con silicio parecen haberse formado por reacción de la casiterita con la wollastonita o, en general, con piroxenos ricos en calcio, ya que siempre se han detectado en regiones de la escoria donde abundan estos silicatos. Una situación parecida es la que ha dado origen a estos compuestos en las escorias de La Fonteta en las que la riqueza en calcio y sílice del sistema justificaría sin dificultad su formación. Además, tanto en las escorias experimentales como en las de La Fonteta hay zonas en las que se ha podido apreciar cómo algunos cristales de Ca-Sn todavía conservan un núcleo blanco de casiterita (Fig. 4.14).

De nuevo nos encontramos ante escorias con inclusiones metálicas de composiciones muy diversas y algunas no contienen prácticamente estaño, ya que se han analizado perlas de cobre prácticamente puro, de cobre-bismuto, cobre-estaño y cobre-estaño-bismuto. El bismuto no suele superar porcentajes del 6% Bi, siendo lo más común encontrarlo en cifras en torno al 2% Bi. En cambio el estaño llega excepcionalmente a formar aleaciones con cobre con hasta 80% Sn, aunque los valores más frecuentes oscilan entre el 2% y el 35% Sn. No se ha detectado estaño metálico, lo cual sugiere, como indican Rostoker *et al.* (1983), que por un lado la formación del bronce pasa primeramente por la disolución de la casiterita en cuprita fundida y que, por otro lado, las condiciones termodinámicas en un fuego abierto son variables y no son lo suficientemente reductoras para que toda la casiterita sea reducida.

El último paso del experimento de S. Rovira Llorens fue fundir el metal en un crisol para obtener un caldo homogéneo de bronce; en el crisol no se formó escoria y se obtuvo un pequeño lingote con una composición de un bronce con aproximadamente un 15% Sn (Rovira Llorens *et al.* 2009).

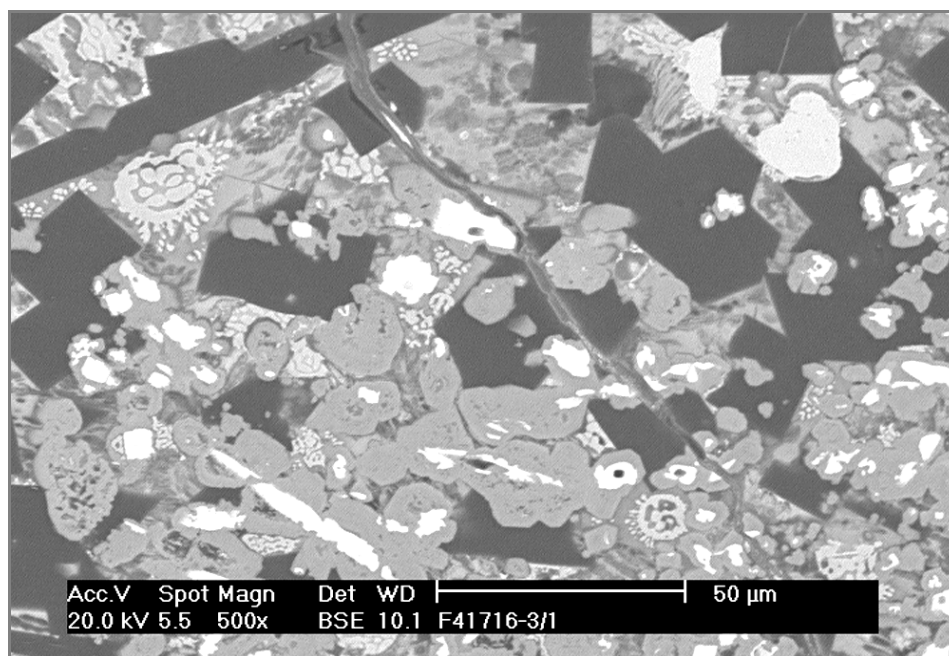


Fig. 4.14. La Fonteta, escoria de bronce F41716-3. Cristales de compuestos Ca-Sn con núcleo blanco de casiterita. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La presencia en las escorias experimentales de los compuestos de Ca-Sn cobra especial importancia porque podría ser un indicador para reconocer materiales obtenidos mediante el uso de mineral de estaño. Además, lo que nos está indicando es que se trata de compuestos formados artificialmente en la escoria durante el proceso metalúrgico y que no se trata de compuestos de oxidación secundaria o de relictos del mineral original.

Cristales de Ca-Sn ya fueron encontrados por Rostoker, McNallan y Gebhard (Rostoker *et al.* 1983) en un resto de fundición y en una escoria procedentes del Santuario de Poseidón en Istmia, Grecia (siglos VII-mitad del V a.C.). En estos materiales los autores identifican distintas fases minerales, y una de estas incluye cristales tabulares compuestos por óxido de calcio y de estaño. El porcentaje en peso de estos elementos, como en las escorias de La Fonteta, es de aproximadamente 25% CaO y 75% SnO₂ con trazas de cobre mientras que, en el caso de nuestras escorias, este material puede ir acompañado por algo de plomo y, en un caso, también por antimonio.

En función del porcentaje en peso, los estudiosos proponen para este compuesto dos posibles formulas: CaSnO_3 y $\text{CaO} \cdot \text{SnO}_2$, y para explicar su formación toman en consideración distintas opciones. Especulan sobre la posibilidad de que la naturaleza básicamente caliza del suelo de la zona de Istmia podría haber sido la razón de la entrada del calcio en el sistema y que por tanto podría tratarse de una operación de refundición de metales, aunque ellos mismos consideran que esto no justificaría del todo que el nódulo de escoria hubiera arrastrado sólo calcio sin ningún otro elemento asociado a la arcilla. Además, la naturaleza del resto de fundición implica una temperatura de fusión elevada, superior a 1150°C , que tendría sentido alcanzar sólo si se tratara de una operación de co-reducción de minerales en la que es necesario evacuar una escoria fluida, pero que no se justificaría tan fácilmente si se tratara de un proceso de refundición de metal. En resumen, consideraron que la cuestión quedaba abierta, estimando como posibles las dos opciones: la refundición de metal y la obtención de bronce por co-reducción de minerales de cobre y de estaño (Rostoker *et al.* 1983: 26-27).

Por tanto, Rostoker y los otros estudiosos no se han alejado de la realidad cuando proponían que estos compuestos se habían formado de manera artificial como reacción con el suelo, de hecho se trata de una reacción de la casiterita con el medio. En el experimento realizado por S. Rovira Llorens (Rovira Llorens *et al.* 2009), dado que la ganga del mineral empleado no era calcárea, el aporte principal de calcio debería proceder de la ceniza del combustible, aunque quedaría por analizar la composición de la cerámica de la vasija en la que se llevó a cabo el proceso metalúrgico. La cinética de la reacción de la escorificación parece indicar que primero se forma un compuesto de Ca-Sn y que posteriormente éste reacciona en un medio rico en sílice formando los silicatos de calcio y estaño que hemos identificado en distintas escorias. Además, estos silicatos suelen presentar composiciones ligeramente distintas con aportes variables del sistema, como aluminio, magnesio y hierro.

La importancia que sin duda tienen estos compuestos de estaño para explicar la formación de este tipo de escoria nos llevó a realizar análisis por difracción de rayos X de un fragmento de escorificación en vasija de reducción en el que habían sido detectados (F21122, del cual se hablará más adelante, en el Capítulo 8 dedicado al estudio de las vasijas de uso metalúrgico), con el fin de tratar de identificar su naturaleza. Pero este método analítico no ha permitido su identificación ya que las

formaciones Ca-Sn, como sucede en muchos de los compuestos de estaño, no constituyen formas cristalinas.

A propósito de los compuestos Ca-Sn, merece una última mención un fenómeno que resulta curioso; en seis de las nueve muestras de La Fonteta que presentan formaciones de este tipo, no se ha detectado ni casiterita ni inclusiones de bronce. Posiblemente, la proporción de casiterita empleada para la producción de bronce era insuficiente para llegar a formar estaño metálico que pudiera ser atrapado por el cobre. Por tanto, podríamos suponer que toda la casiterita presente en el sistema se transformaría primero en un óxido y luego, reaccionando con el medio, formaría un silicato sin llegar a reducirse para formar bronce.

Tanto la co-reducción como la cementación son métodos que hacen que se pierda mucho estaño en la escoria y este mineral tuvo que ser caro o de difícil adquisición para los fenicios. Y quizás esta insuficiencia de casiterita podría ser también una razón del por qué los bronce fenicios de esta época –tanto los binarios como los ternarios– suelen ser pobres en estaño, con contenidos de este metal que sólo en contadas ocasiones alcanzan el 10% Sn, siendo su media del 4,2% Sn para los binarios y del 5,9% Sn para los ternarios (véase el Cap. 10).

En síntesis, a la luz de todos los datos proporcionados por los análisis de las distintas escorias mencionadas, y si consideramos que los compuestos de Ca-Sn podrían ser un indicador de la utilización de casiterita para la obtención de bronce, la gran mayoría de las muestras analizadas de La Fonteta (nueve sobre once) entrarían en esta categoría de escorias, es decir se trataría de subproductos de la producción de bronce. Sin embargo, actualmente los datos analíticos no son suficientes para determinar si la presencia de estos compuestos se vincula directamente al uso del método de la co-reducción o si implica solamente el uso de casiterita; en varias ocasiones, la ausencia en la escoria de claros relictos de mineral de cobre o de otros elementos interpretables como impurezas del mineral original no permite distinguir claramente entre escorias de co-reducción o de cementación.

En el caso de algunas de las muestras de La Fonteta, se han identificado unos componentes que las relacionan con operaciones de co-reducción para producir bronce: por ejemplo, el compuesto hierro-cobalto-níquel presente en la muestra F41762-2 parece corresponderse con la escuterudita $(\text{Co,Ni,Fe})\text{As}_3$, un mineral cuya paragénesis lo asocia al plomo y a la plata y que se encuentra documentado en mineralizaciones de

las provincias de Barcelona, Tarragona, Almería, Granada y Huelva (Galán y Mirete 1979); su presencia en la escoria nos indica que el proceso metalúrgico involucraba minerales (Renzi *et al.* 2007). Igualmente, como ya se ha mencionado anteriormente, en la muestra F41716-3 se ha analizado una inclusión de un silicato de cobre con segregados de plomo que podría corresponder a un relictos de mineral, probablemente un resto de crisocola deshidratada. Asimismo, algunas escorias presentan inclusiones metálicas de composición compleja con contenidos apreciables de varios metales (como antimonio, arsénico, níquel o hierro) y también parecen sugerir el uso de minerales complejos.

Por el contrario, en otros casos, aunque la microestructura y las fases constituyentes sean similares, la ausencia de relictos de mineral o de elementos que puedan relacionarse claramente con el aprovechamiento de minerales cupríferos no permite sugerir que se trata de escorias resultantes de un proceso de co-reducción y, por tanto, habría que suponer que se formaron en operaciones de obtención de bronce (binario o ternario) por cementación de una masa metálica de cobre o de cobre-plomo con casiterita. Éste, por ejemplo, es el caso de la muestra F41756-2 en la que se han detectado los compuestos Ca-Sn e inclusiones metálicas de cobre-plomo sin ningún otro elemento determinante que sugiera una posible vinculación con ninguna de las operaciones para la producción de bronce arriba mencionadas.

Sólo la muestra F41738-2 parece poderse relacionar con mayor probabilidad con la cementación de cobre-plomo con casiterita. Su microestructura presenta alguna diferencia; la matriz es un vidrio que no ha retenido ni cobre, ni plomo o estaño, las formaciones de compuestos de estaño son muy escasas y se aprecia la presencia de casiterita residual cristalizada. Por tanto, como para las escorias de Gusendo de los Oteros y de Sant Jaume, la ausencia de cobre, plomo y estaño en la matriz, junto con la falta de elementos que sugieran claramente que este material se formó durante un proceso de co-reducción y la variabilidad de los contenidos de los diferentes elementos en las inclusiones metálicas de bronce ternario, parecen sugerir que se trata de un subproducto de la cementación de cobre plomado con casiterita. Además, la abundancia de cristales de óxido de estaño y la falta de estaño metálico parecen apoyar esta teoría.

Por último, como ya se ha adelantado en el apartado anterior, sólo en dos de las escorias analizadas (F11065 y F41708-1) no se han detectado los compuestos Ca-Sn.

Estas muestras presentan características claramente distintas y la matriz fundida corresponde a un vidrio de plomo con contenidos apreciables de estaño y cobre.

En el fragmento F11065, por la composición de las inclusiones –que presentan un contenido de estaño bastante homogéneo, de aproximadamente 6-7% Sn– podría tratarse de un material resultante de un reciclado de bronce, una actividad supuestamente frecuente entre los metalúrgicos de todas las épocas, pero de la que en realidad todavía carecemos de buenos estudios arqueometalúrgicos. En cualquier caso, considerando que el espesor de esta escoria es superior a 1 cm, sorprende que en un crisol de reciclaje se forme una escoria de tal grosor a menos que en la vasija hayan caído restos de tierra o de otros elementos contaminantes.

A nivel comparativo, en Renzi *et al.* (2007) se publica el único estudio analítico actualmente disponible de un claro subproducto de un proceso de reciclaje de bronce. Se trata de un crisol de gran tamaño que conservaba adherido a la capa de escoria del interior de la vasija un fragmento de varilla o punzón sin fundir. Procede de los niveles orientalizantes de la ya mencionada Plaza del Higueral en Carmona (Sevilla) en la que, además de varios fragmentos del crisol, se encontró también un pequeño nódulo de escoria del que se ha hablado anteriormente (Rovira Llorens 2007). El interior del crisol está afectado por una capa de escoria de varios milímetros de espesor y los análisis en el SEM-EDX de tres secciones de esa escorificación, tomadas en puntos diferentes de la vasija, proporcionan resultados similares. Se trata de un vidrio en el que no se han detectado compuestos conteniendo cobre, estaño o plomo, ni cristales idiomorfos de óxido de estaño (Renzi *et al.* 2007).

Como para el nódulo de escoria, también en la escorificación de crisol algunas de las aleaciones detectadas contienen más del 20% Sn, unas composiciones que ya hemos visto que no se conocen en la metalistería de la época (Montero Ruiz *et al.* 2003; Rovira Llorens *et al.* 2005); por tanto, si en el crisol no había ese tipo de bronce, no se podrían haber formado microrregiones con una concentración tan alta de estaño. Habría que suponer pues que, además de bronce amortizados con las composiciones más comunes, el crisol contenía otros materiales previamente enriquecidos en estaño, es decir que en esta vasija no se estaba sólo reciclando metal sino también produciendo nuevo bronce con la aportación de metal enriquecido en estaño (Renzi *et al.* 2007). Así se han interpretado ciertas escorias del Bronce Final-Hierro Antiguo de Bohemia-Sajonia (Bartelheim *et al.* 1998) y esta interpretación podría tenerse en consideración también como alternativa posible a la obtención de bronce mediante la mezcla de metales

propuesta para explicar las distintas composiciones ricas en estaño detectadas en el ya mencionado nódulo de escoria encontrado en la misma Plaza del Higueral de Carmona.

Aunque a la vista de estos resultados parece evidente que la escoria de La Fonteta es distinta de la del crisol de la Plaza del Higueral, y considerando que es el único resto actualmente estudiado, la cuestión queda abierta hasta que futuras investigaciones proporcionen más elementos para su correcta interpretación. Se trata de procesos metalúrgicos en los que se pueden formar residuos de morfología y composiciones muy distintas, y por tanto es necesario un muestreo más amplio para resolver estas incógnitas.

Con respecto a la otra muestra en la que no se han identificado los compuestos Ca-Sn (F41708-1), su interpretación tampoco está del todo clara. Se ha detectado estaño solamente en la matriz de una de las zonas analizadas de la muestra pero no se observan restos de casiterita ni hay estaño en las fases metálicas de la escoria, es decir que en el fragmento examinado no ha llegado a formarse bronce; tampoco se han documentado relictos de mineral. Por tanto, el tipo de matriz y la presencia de una amplia zona metálica compuesta por cobre-plomo apunta a que este fragmento es el subproducto de una operación de obtención de bronce plomado a partir de una masa metálica de cobre-plomo enriquecida en estaño, aunque no es posible determinar si este proceso se estaría llevando a cabo mediante la adición de casiterita (es decir por cementación) o de estaño metálico.

4.3 LOS RESTOS DE FUNDICIÓN DE LA FONTETA

De los restos de fundición de base cobre encontrados en el yacimiento, se han seleccionado tres muestras (F31087; F41722-2 y F41732-2) para su estudio analítico por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX). La primera muestra (F31087) es una masa metálica de bronce de forma circular y sección plano-convexa, tipo “lingotillo” (Fig. 4.15), que fue recogida en el depósito de vertidos metalúrgicos atribuido a la fase II que cubría una de las viviendas del Corte 5.

Su análisis muestra una microestructura poco homogénea. Gran parte de su sección es metálica mientras que los bordes externos (especialmente la zona superior y los laterales) tienen textura escoriácea (Fig. 4.16).



Fig. 4.15. Masa metálica de bronce (F31087) de La Fonteta.

La matriz de esta zona escoriácea corresponde a un vidrio con contenidos apreciables de estaño, cobre y plomo; se han analizado también varias inclusiones metálicas, principalmente de cobre puro y en algunos casos con algo de estaño y/o plomo. Asimismo, se ha detectado una abundante presencia de casiterita cristalizada pero curiosamente no se han encontrado inclusiones de bronce.

El análisis global del núcleo metálico indica que se trata de un bronce ternario con contenidos de estaño que varían en las distintas zonas de la muestra; también las tasas de plomo son variables, aunque generalmente no superan el 3% Pb.



Fig. 4.16. Sección de la masa metálica de bronce (F31087) de La Fonteta.

Este “lingotillo” tuvo que formarse en un ambiente muy oxidante, como indica la presencia de cuprita y de casiterita que se observan en todas las zonas analizadas (Fig. 4.17). Prácticamente todo el estaño presente en el sistema ha quedado retenido en forma

de óxido; la casiterita no ha llegado a reducirse a metal para formar bronce y en la zona inferior de la muestra ha reaccionado con el medio formando compuestos de Ca-Sn.

La naturaleza escoriácea de la capa externa (en su zona inferior y lateral) se puede explicar como reacción de la carga con la arcilla de la vasija en la que se llevó a cabo la operación de obtención de la aleación cobre-estaño. Se trataría pues del resultado fallido de un proceso para producir bronce en un pequeño recipiente, según indica su forma aproximadamente plano-convexa; el fallo podría haberse debido a una temperatura excesivamente baja, insuficiente para conseguir fundir bien la masa.

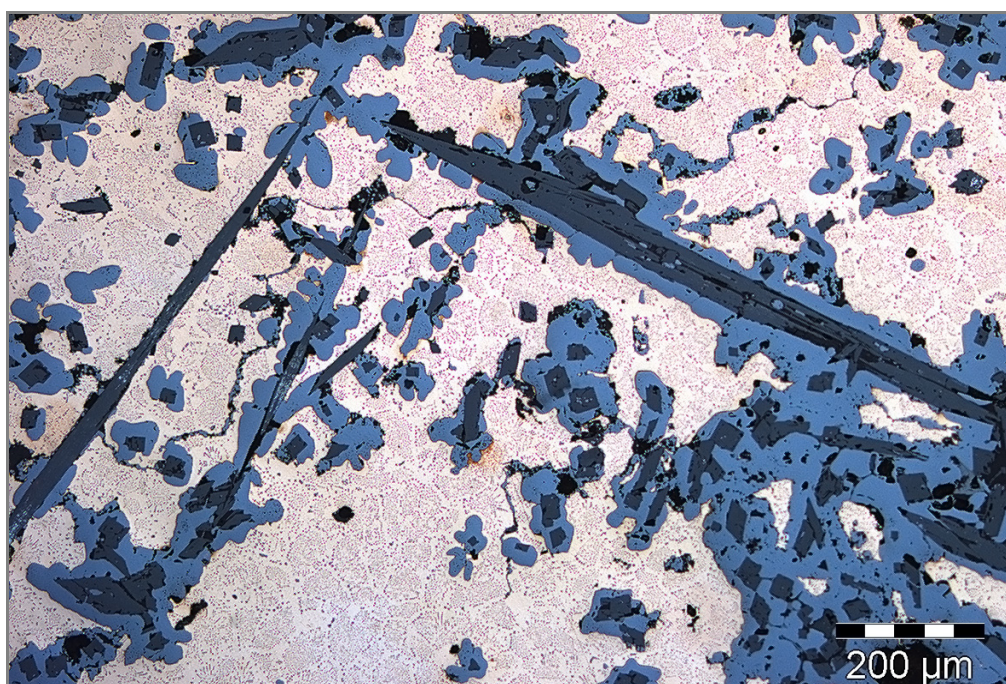


Fig. 4.17. Masa metálica F31087. Detalle de agujas y cristales idiomorfos de casiterita con abundante óxido cuproso rodeándola; también el metal presenta mucho óxido de cobre con estructura fina puntillada de aspecto granular.

Es probable que esta masa metálica sea un material resultante de un proceso de cementación de cobre con casiterita, ya que no se han encontrado claros restos de mineral de cobre para sugerir que se trate de un proceso de obtención de bronce por co-reducción.

Los otros dos restos de fundición seleccionados corresponden a dos pequeñas gotas de metal (F41722-2 y F41732-2) de sección ligeramente ovalada, procedentes de los estratos de vertidos del Corte 54-1 y fechados dentro de FA (fase I y II). Miden respectivamente 0,8x0,5 cm y 0,4x0,3 cm y presentan las superficies enteramente recubiertas por sales de cobre. Uno de estos restos (F41722-2) estaba adherido a un

elemento laminar de plomo, mientras que el otro (F41732-2) se encontró englobado en un fragmento amorfo de cerámica vidriada.

Ambas gotas han sido examinadas por microscopía óptica y su microestructura con granos de gran desarrollo indica que se han producido por un enfriamiento lento del metal (Fig. 4.18) que permite interpretarlas como subproductos resultantes de un proceso para la obtención de bronce en una cubeta de un horno o en una vasija de reducción, y no como gotas de fundición caídas de un crisol durante una operación de vertido del caldo metálico.



Fig. 4.18. Gota F41732-2. Se observan amplios granos en cuyo interior se han formado microdendritas; hay abundantes segregados de plomo (de color negrozco).

Desde el punto de vista analítico, la matriz de la gota de fundición F41722-2 está formada por cobre con algo de estaño en la que se ha segregado abundante plomo; la presencia de cloruro indica una corrosión parcial del metal. El contenido de estaño detectado (1,7% Sn) es escaso y podría llevar a interpretar esta muestra como un resto de fundición de cobre-plomo, en el que la presencia de estaño se debería a una impureza del mineral de origen. Sin embargo, considerando que en varias de las escorias de bronce analizadas el estaño presente en el sistema no ha llegado a alearse con el cobre perdiéndose en la escoria, no sería extraño que el metal resultante pudiera tener una

composición de este tipo. También podría tratarse de un resto de fundición formado durante una operación de reciclaje de chatarra.

La otra gota de fundición (F41732-2) tiene una microestructura poco homogénea y está constituida por cobre con un contenido apreciable de estaño (alrededor del 4% Sn) y con abundante plomo segregado. Se observan islotes de cloruro de plomo con cobre, zonas de sulfuro de plomo y otras de óxido de cobre. También en este caso se trata de un bronce muy plomado pobre en estaño, aunque el contenido detectado de este elemento es coherente –como veremos más adelante, en el capítulo dedicado al estudio de los objetos metálicos (Cap. 10)– con la composición de gran parte de los objetos de bronce analizados.

5. LA METALURGIA DE LA PLATA

5.1 INTRODUCCIÓN

Existen seis tipos principales de recursos naturales de plata (Craddock 1995: 211-212):

- 1) plata nativa;
- 2) compuestos de plata combinada con azufre (argentita, Ag_2S) o con cloro (plata córnea o querargirita, AgCl); minerales mixtos, tipo pirargirita (Ag_3SbS_3), proustita (Ag_3AsS_3), stefanita (Ag_5SbS_4) y las denominadas *fahl ores* argentíferas (cobres grises);
- 3) la plata contenida en el electro (aleación natural de oro-plata);
- 4) piritas argentíferas (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2) o arsenopirita (FeAsS) argentíferas;
- 5) las jarositas complejas parcialmente oxidadas asociadas a zonas de enriquecimiento secundario en depósitos minerales, entre el gossan y los depósitos primarios;
- 6) minerales de plomo asociados a minerales de plata, como la galena (PbS), la cerusita (PbCO_3) y la anglesita (PbSO_4) argentíferas.

Los recursos mencionados en el segundo punto generalmente son tan ricos en plata que podrían haber sido reducidos directamente y fueron los que probablemente, junto con la plata nativa, se emplearon en la primera etapa de la producción de objetos de este metal (Craddock 1995; Meyers 2003). Pero no son minerales especialmente abundantes en la naturaleza, y el aumento de la demanda de metales nobles llevó necesariamente al aprovechamiento de otros recursos.

La principal fuente de producción de plata en el mundo antiguo fueron los minerales de plomo argentífero, en general la galena y, como es generalmente asumido por muchos autores (Craddock 1995: 213-214; Meyers 2003), también sus minerales oxidados, principalmente la cerusita. Sin embargo, hay evidencias de que con el mismo fin se emplearon también otros tipos de minerales como las jarositas y, como se verá más adelante, los minerales cupro-argentíferos. La extracción de la plata a partir de

estos recursos no plomíferos requería la adición de plomo que actuaba como colector del metal noble que, al igual que en el procesamiento de los minerales plomo-plata, sucesivamente se extraía mediante la utilización del método de la copelación.

Este proceso incluye dos pasos principales, la reducción y la copelación propiamente dicha. En la primera fase el mineral argentífero (con la adición de plomo, en el caso de que fuera necesario), era reducido a elevadas temperaturas en condiciones lo más reductoras posibles para que toda la plata pudiera ser absorbida por el plomo. Una vez concluida esta primera parte del proceso, toda la plata debería haber quedado “atrapada” en el plomo, supuestamente sin pérdidas en la escoria. El metal obtenido sería plomo con plata y todos los demás metales pesados asociados: oro, cobre, zinc, arsénico, antimonio y bismuto.

En el paso siguiente, la plata se separaba del plomo mediante calentamiento del metal aproximadamente a 1000°C en una atmósfera especialmente oxidante, probablemente en una estructura abierta, para que el plomo se oxidara formando litargirio (PbO), y absorbiendo los óxidos de la mayoría de los demás metales. Según las palabras de Plinio el Viejo (*Historia Natural*, 33.95), la plata fundida junto con el eventual oro se quedarían flotando en el caldo de óxido de plomo como “aceite en el agua”. Esta expresión, de acuerdo con J. Bayley (1992), no habría que tomarse al pie de la letra ya que la plata tiene una densidad mayor que el litargirio y por tanto no debería flotar, como indican las huellas dejadas por las masas metálicas de plata en el fondo de algunas copelas (Fig. 5.1). En todo caso, parte del óxido de plomo sería absorbido por la vasija reaccionando con la sílice de la arcilla para formar un silicato y parte se volatilizaría en los humos. En efecto, como veremos más adelante, la mayoría de los subproductos de la copelación encontrados en yacimientos arqueológicos corresponden a fragmentos de las paredes de las vasijas en las que se había llevado a cabo la operación, que han reaccionado casi completamente con el litargirio quedando masivamente impregnados y manteniendo una microestructura residual del material arcilloso.

Una vez que la plata había sido separada del plomo mediante copelación, el litargirio –que absorbía también los restantes metales no-nobles– podría ser reducido nuevamente a plomo. Este plomo presentaría cantidades significativas de otros metales (arsénico, bismuto, antimonio y cobre) que le proporcionarían mayor dureza (Craddock 1995: 221-223).



Fig. 5.1. Fondo de una copela procedente del pecio “Barco fenicio 2” de la Playa de la Isla (Puerto de Mazarrón, Murcia). Se aprecia la huella dejada por el régulo de plata.

Actualmente, los testimonios más antiguos del uso de la técnica de copelación proceden de Próximo Oriente y se fechan dentro del IV milenio a.C. Se trata de algunos fragmentos de litargirio procedentes de un yacimiento de Siria septentrional, Habuba Kabira (Pernicka *et al.* 1998; Pernicka 2004), y de algunas escorias de plomo-plata y fragmentos de litargirio encontrados en Anatolia oriental, concretamente en Arslantepe y en Fatmali Kalecik (Hess *et al.* 1998). También en Ática en contextos cronológicos similares, se han encontrado varios restos de litargirio y/o copelas (Kakavogianni *et al.* 2008).

Los primeros objetos en plata conocidos también han sido datados en el IV milenio a.C. y proceden de algunos yacimientos de Persia, Anatolia, Mesopotamia y Egipto, aunque por el momento sigue abierta la discusión si fueron producidos usando plata nativa, cloruros de plata o mediante el método de la copelación. Para un estudio detallado de los elementos traza de estos primeros objetos de plata en relación con el tipo de mineral de origen empleado para su producción, remitimos al trabajo de Meyers (2003).

Por lo que concierne a la Península Ibérica, los primeros objetos de plata han sido hallados en varios yacimientos de cronología correspondiente a los momentos iniciales de la cultura argárica. Los análisis por ED-XRF de estos materiales, efectuados dentro del proyecto *Arqueometalurgia de la Península Ibérica*, por la elevada pureza del metal indican claramente que no pueden haber sido producidos mediante el uso de plata copelada. Se ha supuesto que los recursos argentíferos empleados para su fabricación podrían haber sido la plata nativa o la querargirita que, por ejemplo, están presentes en los depósitos de Herrerías (Cuevas de Almanzora, Almería) (Montero Ruiz *et al.* 1995).

Para encontrar claras evidencias del uso de la técnica de la copelación hay que esperar una fase avanzada del Bronce Final y su introducción en el territorio peninsular está tradicionalmente asociada a la llegada de los fenicios (finales del siglo IX-comienzos del VIII a.C.) (Ruiz Mata 1981; Fernández Jurado 1993; Hunt 2003). A partir de este momento, son numerosos los testimonios de la metalurgia de plomo-plata, concentrados especialmente en la zona sur-occidental de la Península, donde la explotación de los abundantes recursos argentíferos del Cinturón Ibérico de Piritas seguramente tuvo un gran atractivo comercial para estas poblaciones del Mediterráneo oriental.

Pasando a los minerales argentíferos que no contienen plomo explotados en la antigüedad, nos centraremos en el estudio de los minerales cupro-argentíferos ya que la explotación de jarositas ha sido ampliamente tratada en numerosos trabajos (véase, por ejemplo, Blanco y Rothenberg 1981 y Craddock 1995).

La técnica de extracción de la plata de este tipo de minerales o de metales argentíferos, denominada licuación, está escasamente documentada a nivel arqueológico. Este método permite separar metales de un mineral o de una aleación; el material tiene que ser calentado hasta que uno de los metales empieza a fundir y se separa del otro para que pueda ser removido, y fue empleado principalmente para desplatlar el cobre.

En el proceso de reducción, la plata y eventualmente el oro presentes en el cobre, al final de la operación formarían una única masa metálica y para poder separarlos es necesario añadir elevadas cantidades de plomo. El plomo y el cobre tienen muy baja solubilidad y durante el proceso de enfriamiento del metal, cuando esta masa alcanza una temperatura intermedia entre la de fusión del plomo y la del cobre, los dos metales se separan; los metales nobles, y también los otros elementos de bajo punto de fusión,

migran de la aleación de cobre al plomo por un fenómeno de segregación (Cavallini 2005) y se obtiene así un régulo de plomo-plata (Pb-Ag) –que todavía presentaría cierta cantidad de cobre residual– y una masa de cobre bastante impuro, con abundante plomo y otras impurezas del metal (Forbes 1950: 203-204). Posteriormente, el régulo de plomo-plata con cobre se somete al proceso de copelación para recuperar la plata concentrada en el plomo, y la masa de cobre a operaciones de afino para eliminar los elementos no deseados. Los procesos de afino del cobre prevén la eliminación de las impurezas mediante una combinación de oxidación, escorificación y volatilización, y se describen detalladamente en Forbes (1950). Son procesos laboriosos y que requieren cierta habilidad, pero en la antigüedad el afino probablemente se llevaría a cabo mediante la fundición del cobre con carbón en un crisol o en un fuego abierto utilizando una ventilación forzada (Forbes 1950: 309).

La primera mención de esta técnica se encuentra en un tratado de 1061 (*Pen Tschao Thu Ching*) de un escritor chino, Su Sung (Needham 1974: 60), en el que se afirma que la plata se extraía de los minerales cupro-argentíferos mediante la adición de plomo y repetidos calentamientos del metal. El mismo proceso, conocido con el nombre de *Saigerprozess*, fue ampliamente utilizado en Europa central entre 1460 y 1560 para responder a la crisis producida por el declive de las exportaciones de plata de Serbia y Bosnia a mediados del siglo XV (Blanchard 1995: 13).

También algunos tratados contemporáneos proporcionan unas descripciones detalladas de las distintas fases para obtener plata mediante el uso de la licuación, como por ejemplo el *De la pirotechnia* (publicado en 1540) de V. Biringuccio, el *De Re Metallica* (1556, Libro XI) de Georgius Agricola y el *Beschreibung allerfürnemisten mineralischen Ertzt und Berckwercksarten* (1574) de L. Ercker.

Asimismo, una descripción muy ilustrativa de este método nos la proporciona un tratado italiano de metalurgia del siglo XVII, *Pratica metallurgica* de Marco Antonio Della Fratta, publicado en 1678:

“Se il Rame [...] tiene in se buona quantità d’Argento, si fonde in Manica, ò catino, aggiungendovi la terza parte di Piombo: [...] e così mescolati assieme, se ne fanno formelle alla giustezza di due in tre dita circa, e larghe à beneplacito; il che si eseguisce lasciando scorrere il Metallo in forme apprestate [... Aggiustato ogni cosa, si da fuoco in uno stesso tempo per tutto co’ carboni accesi, & in mezz’hora circa le formelle cominciano à sudare, e stillare il Piombo, il quale [...] scende in un catino sottopostovi, [... Stilla

dunque il Piombo, e seco se ne porta l'Argento che era nel Rame, il quale, come Metallo non così facile à liquefarsi, resta spongoso, e non poco contaminato per la compagna havuta del Piombo”.

El origen de esta técnica es incierto; una mención de su posible uso en la antigüedad se encuentra en Bordreuil *et al.* (1984). Estos autores sugerían que en la zona industrial del palacio norte de Ras Ibn Hani (Siria), fechado en el Bronce Final, podrían haberse llevado a cabo operaciones metalúrgicas para la extracción de plata de cobres argentíferos mediante licuación. Sin embargo, las evidencias disponibles son débiles; se excavó una estructura de combustión formada por dos muretes paralelos cuyo paramento interno presentaba evidentes signos de afectación térmica. Delante de esta estructura se encontraban excavados en el suelo, en pendiente, unos canales en los que se podían apreciar restos plomíferos. Los estudiosos interpretaron esta estructura como un posible “horno” utilizado para la licuación por el parecido que presentaba con una “instalación de licuación” representada en una de las ilustraciones del Libro XI del *De Re Metallica* de G. Agricola. También efectuaron un estudio analítico preliminar de la composición de algunas muestras de metal encontradas en el yacimiento. Estas piezas resultaron ser cobres bastante puros, por lo que consideraron que el taller metalúrgico excavado podría haber estado relacionado con operaciones de afinado del cobre para la recuperación de los metales nobles. Además, Bordreuil *et al.* (1984) señalan que en los textos de Mari se menciona que había plomo destinado al “lavado” del metal, una expresión que podría referirse a la licuación; asimismo la operación de “lavado” de los metales está bien documentado en los textos mesopotámicos después del III milenio a.C., y en los mismos textos se diferencia claramente entre “cobre de montaña” y “cobre lavado” (Bordreuil *et al.* 1984: 401-407).

Por lo que concierne al mundo occidental, los primeros restos clasificados como resultantes de un proceso de licuación son más recientes y han sido documentados en algunos yacimientos romanos, como por ejemplo en Corinto (Grecia) en una ceca del siglo III d.C. en la que se había utilizado para separar el cobre y la plata en las aleaciones base. Algunos restos de este tipo proceden también de yacimientos británicos de finales de la Edad del Hierro (Craddock 1995: 232-233) pero, hasta la fecha, en ningún taller metalúrgico antiguo se han documentado claras evidencias del uso de la licuación para la obtención primaria de plata a partir de minerales cupro-argentíferos.

A éste propósito P. Craddock (1995: 233) hace notar que en todas las aleaciones de base cobre del mundo clásico los contenidos de plata son sorprendentemente bajos, lo que podría estar indicando que el desplatado de cobre era una técnica más común de lo que está actualmente documentado. Según G. Agricola, el cobre “licuado” se calentaba sin llegar a fundirlo en un horno especial para eliminar el plomo residual mediante oxidación, es decir en forma de litargirio. Es posible que este proceso se utilizara en el mundo clásico y en el mundo romano, sin embargo no tuvo que ser una práctica común en época fenicia, como parece indicar la abundante presencia de aleaciones cobre-plomo que circulan en esta fase.

En resumen, las evidencias actualmente disponibles del uso de la licuación en época antigua son muy escasas y en todos los casos apuntan al empleo de esta técnica sólo para la recuperación de la plata en operaciones de afino del cobre y de sus aleaciones. Sin embargo, como veremos más adelante, el reciente estudio de algunos materiales arqueometalúrgicos está proporcionando varios indicios de que la misma técnica podría haberse empleado para la obtención de plata directamente a partir de minerales cupro-argentíferos.

Este proceso preveía distintas etapas:

- 1) La reducción de los minerales cupro-argentíferos. En este primer paso se obtendría una masa metálica de cobre-plata (Cu-Ag) y tendríamos como subproducto escorias de cobre.
- 2) A la aleación obtenida de Cu-Ag se le añadiría plomo para captar la plata y el producto resultante de la operación de fusión, como se ha visto antes, sería por un lado una masa de cobre con varias impurezas y contenidos más o menos abundantes de plomo, y un régulo de Pb-Ag con apreciables restos de cobre (un régulo Pb-Ag-Cu).
- 3) El tercer paso sería el proceso de copelación de este régulo en el que se obtendría por un lado la plata y por el otro se formaría un subproducto correspondiente a un litargirio rico en óxido de cobre; asimismo, tendríamos restos de copelas constituidas principalmente por los mismos elementos.
- 4) Como en el caso de la extracción de plata de minerales plomo-argentíferos, este litargirio podría ser reducido de nuevo a metal; se obtendría así una masa metálica de cobre-plomo, una aleación bastante común en numerosos objetos de época fenicia y orientalizante.

Es posible también que los antiguos metalúrgicos añadieran mineral de plomo ya en el primer paso del proceso, obteniendo directamente por co-reducción una masa metálica Cu-Pb-Ag que sería luego copelada.

5.2 LA METALURGIA DE PLOMO-PLATA DE LA FONTETA

La Fonteta ha proporcionado varios materiales que pueden relacionarse con la metalurgia de plomo-plata: nódulos de galena, abundantes goterones de plomo, un fragmento de litargirio y algunos fragmentos de copelas.

5.2.1 Minerales

Se han encontrado aproximadamente una docena de fragmentos de galena y la mayoría de ellos han sido recogidos en los estratos de vertidos metalúrgicos de los depósitos excavados en el Corte 54-1 y pertenecen a la fase arcaica del poblado (fases I-II). Sólo cuatro fragmentos proceden de los niveles de uso de las viviendas dedicadas a las operaciones metalúrgicas: los del Corte 14 y de Corte 5N se han atribuido a la fase II, mientras que los que proceden del Corte 7 y del Corte 5 no tienen una atribución cronológica fiable, ya que ambos proceden de estratos muy revueltos (Tabla 5.1).

N. Invent.	Corte	Estrato	Fase
F62028	1	B1b	II
F62073	1N	B2a	II
F62026	1W	B2b	II
F35287	54N	B9	II
F55021	54N	B13 grava playa	I
F41567	54S/W	B5f	I
F41710	54S/W	B5f	I
F41715	54S/W	B6 arena	I
F41721	54S/W	B5f	I
F12752	14N/E	B10	II
F25090	5 ext	A3c/e	IV/VI
F31041	5N	B9bcd	II
F01444	7	A2 perfil	VII/IX

Tabla 5.1. Información estratigráfica y cronológica de los fragmentos de galena de La Fonteta, ordenados en función del corte del que proceden.

Se trata de fragmentos de mineral de distinto tamaño (Fig. 5.2); algunos miden alrededor de 5-6 cm, aunque en general suelen presentar dimensiones menores, unos 2-3

cm aproximadamente. El peso de estos fragmentos puede variar desde los 10 g hasta los casi 130 g del ejemplar mayor.



Fig. 5.2. Nódulos de galena procedentes de La Fonteta.

Se ha efectuado una selección de estas galenas para su análisis elemental por ED-XRF, con el fin de comprobar la presencia de impurezas y su eventual naturaleza de mineral argentífero.

Se han analizado ocho muestras y han resultado ser galenas bastante puras cuya proporción de plata no permite considerarlas argentíferas, con la excepción de un único nódulo (F41710) que presenta un contenido más elevado, del orden de 0,17% Ag (1700 ppm). Excluyendo dicho fragmento, la media de plata en las galenas estudiadas es de 138 ppm Ag, un contenido que seguramente no era rentable para su beneficio en la antigüedad. De hecho, en general, se considera que el contenido mínimo de plata para que un mineral pudiera considerarse argentífero estaría alrededor de 400 ppm Ag, excepto en el caso de las minas del Laurion (Grecia) en las que, según Tylecote (1987: 140), durante la época clásica este contenido mínimo podría estar alrededor de 250 ppm Ag.

En gran parte de los análisis se observan trazas de antimonio y sólo en un caso hay presencia de cobre, estaño y un mayor contenido de antimonio. Y dado el escaso contenido en plata detectado en los fragmentos estudiados, esta galena tuvo que ser empleada solamente para la producción de plomo.

Ese metal se utilizaría luego en las operaciones de copelación, para producir aleaciones con cobre y, en menor medida, también para la elaboración de objetos. De hecho, aunque en esta época las piezas acabadas fabricadas en este metal están escasamente documentadas, en el mismo La Fonteta se han hallado numerosas pesas de red para la pesca y algunos ponderales de plomo (véase el capítulo dedicado al estudio de los elementos metálicos, Cap. 10).

En la Tabla 5.2 se pueden ver las concentraciones de los elementos traza¹ detectados en las galenas.

N. Análisis	N. Invent.	Cu	Ag	Sn	Sb	Bi
PA12197	F62026	0,24	0,047	nd	0,002	det
PA13479	F41710	0,9	0,174	nd	0,384	nd
PA13480	F55021	nd	0,012	0,006	nd	nd
PA13481	F12752	0,15	0,004	nd	0,003	nd
PA13482	F35287	nd	0,007	nd	0,008	det
PA13483	F62073	nd	0,003	nd	0,001	det
PA13484	F41567	nd	0,021	nd	0,011	det
PA13485	F25090	nd	0,003	nd	0,006	det

Tabla 5.2. Resultados ED-XRF (% en peso) de la composición de las impurezas detectadas en algunas de las galenas procedentes de La Fonteta (nd: no detectado; det: detectado). Valores normalizados en relación al 100% de plomo.

De algunas de las galenas encontradas se han efectuado también análisis de los isótopos del plomo para determinar el posible origen del mineral, pero de este tema se hablará más adelante en el capítulo correspondiente a los estudios de procedencia (Cap. 11).

5.2.2 Los goterones de plomo

En La Fonteta se han recogido más de 100 goterones de plomo de distinto tamaño y peso (Fig. 5.3), desde los 2-3 cm hasta los 8-10 cm de longitud, con un peso total que supera los 500 g.

La mayoría de ellos procede de los estratos de vertidos metalúrgicos del Corte 54-1 y se fecha en las fases I-II. Una quincena de goterones se han encontrado en la zona de habitación del Corte 14 y pertenecen a la fase III, seis ejemplares en el Corte 5N (fase II), una decena en el Corte 7 (fases I y III) y otros cuatro goterones en las bolsas

¹ Un elemento se define traza cuando su contenido total es <0,01%, de acuerdo con Montero Ruiz (2000: 13).

de relleno del Corte 8 cuya cronología no puede considerarse del todo fiable, ya que se encuentran mezclados materiales de FA y de FR (Tabla 5.3).



Fig. 5.3. Algunos de los goterones de plomo procedentes de La Fonteta.

N. Invent.	Corte	Estrato	Fase	N. frags	N. Invent.	Corte	Estrato	Fase	N. frags
F50153	1C/S	A4a	III	1	F41734	54N	B11	II	1
F50147	1W	B1	II	4	F41773	54S	B5	II	1
F50148	1W	B2	II	1	F41722	54S/	B5f	I	2
F50172	1W	B3ab	II	2	F41536	54S/	B5f	I	1
F50305	1W	B1	II	1	F41716	54S/	B6	I	1
F50294	1W	B3c	II	1	F41722	54S/	B5f	I	27
F50306	1W	B1a	II	1	F11154	14N/E	B9a	III	2
F55043	1W	B3	II	2	F11048	14N/	B9c	III	1
F50146	1W/C	B3	II	2	F11063	14N/	B9	III	3
F41765	54	B3c	II	2	F11114	14N/	B9a	III	2
F41732	54N	B1	II	1	F11065	14N/	B9a	III	11
F41729	54N	B4d	I	1	F31011	5N	B9c3	II	3
F41774	54N	B3b/4b	I-II	4	F31125	5N	B9b	II	2
F41712	54N	B10	II	1	F31253	5N/S	B8de	II	1
F41569	54N	B10	II	2	F12731	7B	B11bas	III	10
F41725	54N	B9/10	II	1	F12743	7C/E	B13	I	1
F41724	54N	B6	I	1	F21141	8AB	A2	VII/IX	2
F41797	54N	B5	II	4	F11113	8B/C	A3a	VI	1
F41866	54N	B3	II	1	F11000	8B/C	A3	VI	1

Tabla 5.3. Información estratigráfica y cronología de los goterones de plomo de La Fonteta, ordenados en función del corte del que proceden.

Desafortunadamente, de todos los goterones de plomo encontrados se pudieron analizar solamente dos ejemplares por ED-XRF e ICP-OES y otro por ICP-OES, cuyos resultados se presentan a continuación (Tablas 5.4 y 5.5).

Los resultados analíticos obtenidos con las distintas técnicas son coherentes y, como para las galenas, nos muestran una elevada pureza del metal; los únicos elementos traza detectados son cobre, plata y, menos en un caso, antimonio. El muestreo es muy reducido para poder sacar conclusiones definitivas sobre la posible relación entre la materia prima y el plomo, aunque la pureza de ambos materiales es compatible con el uso de la galena para la fabricación del plomo analizado, un tema que se tratará más detalladamente en el capítulo de los estudios de procedencia (Cap. 11). A este propósito cabe mencionar que –a pesar de los hallazgos de galena, de los goterones de plomo y de los fragmentos de litargirio y copelas– en el yacimiento no se ha encontrado ninguna escoria de plomo o plomo-plata.

Análisis	Muestra	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Pb	Bi
PA12132	F41536	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,146	nd	nd	99,8	nd
PA12131	F50306	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,030	0,003	nd	99,9	nd

Tabla 5.4. Resultados ED-XRF (% en peso) de la composición de algunos de los goterones de plomo procedentes de La Fonteta (nd: no detectado).

Muestra	Cu	Pb	As	Sb	Sn	Ag	Bi	Total
F41536	0,008	99,5	<0.001	0,001	<0.001	0,002	<0.001	99,5
F41722	0,012	99,8	<0.001	0,002	<0.001	0,002	<0.001	99,8
F50306	0,047	100,4	<0.001	<0.001	<0.001	0,012	<0.001	100,5

Tabla 5.5. Resultados ICP-OES (% en peso) de la composición de algunos de los goterones de plomo procedentes de La Fonteta.

5.2.3 Litargirio y copelas

Entre los materiales arqueometalúrgicos de La Fonteta se han identificado diez fragmentos de copelas y un único fragmento de litargirio.

Tres de los fragmentos de copela han sido recogidos en el Corte 54-1: dos proceden de los niveles de cobertizo del vertedero (fase VI?), mientras que el tercero pertenece a la fase I. Otro fragmento ha salido de los niveles de relleno del Corte 65 y por tanto su cronología es dudosa (fase VI?). Las restantes copelas proceden de los niveles de uso de las estructuras dedicadas a las actividades metalúrgicas de los cortes situados al interior de la muralla: tres del Corte 5, de los cuales dos de la fase III y uno de la fase V-VI; uno del Corte 7 (fase VI) y otros dos del Corte 8 (fase VI).

El litargirio (F25081) ha sido recogido en el Corte 8 y pertenece a la fase III del yacimiento.

En resumen, sólo un fragmento de copela ha sido recogido en los niveles arcaicos del yacimiento (fase I); el fragmento de litargirio y dos de las copelas encontradas pertenecen a la fase III, mientras que las otras han sido atribuidas, en algunos casos dudosamente, a la fase VI (Tabla 5.6).

N. Invent.	Corte	Estrato	Fase
F50055	1C	A2cd	VI
F50149	1E	A3b	VI
F41540	54S/W	B5f	I
F62053	65 ext	A2c	VI
F25097	5A	B9 lecho	III
F31002	5A	B9	III
F25089	5B ext	A3c/e	V/VI
F1401	7E	B6	VI
F25081	8B/C	B11ab	III
F11082	8B/C	A3b	VI
F11116	8B/C	A3b	VI

Tabla 5.6. Información estratigráfica y cronología de los fragmentos de copelas y del litargirio de La Fonteta, ordenados en función del corte del que proceden.

Los diez fragmentos de copelas encontrados presentan dimensiones y pesos muy distintos, que en los de mayores dimensiones alcanzan alrededor de 10x6 cm de tamaño y aproximadamente 80 g de peso (Fig. 5.4).



Fig. 5.4. Dos fragmentos de copelas procedentes de La Fonteta (F31002 y F50149).

Se trata de materiales muy densos y con un elevado peso específico, cuyas superficies son rugosas y de color beige-amarillento. Al corte el material tiene una textura medianamente compacta, con pocas vesículas de distintos tamaños, y presenta

tonalidades rosado-rojizas con numerosas motas blancas; a menudo se aprecian a simple vista inclusiones de plomo. El grosor de estos fragmentos suele estar alrededor de 2-3 cm (Fig. 5.5).



Fig. 5.5. Macrografía de la sección del fragmento de copela F50149 procedente de La Fonteta.

En los ejemplares más grandes se observa una forma ligeramente convexa que parece reproducir la forma de la vasija original, y algunos fragmentos todavía presentan una capa de material arcilloso adherida a su cara inferior (Fig. 5.6).



Fig. 5.6. Macrografía de la sección del fragmento de copela F31002 procedente de La Fonteta. En la zona inferior se aprecian restos de la cerámica de la vasija original.

Por lo que concierne a la tipología de estas copelas, sólo cinco de los fragmentos encontrados conservaban restos del borde y tenían un tamaño suficientemente grande para reconstruir aproximadamente su morfología y sus dimensiones originales. Parece tratarse de formas muy abiertas (tipo plato) y, utilizando una plantilla de diámetros, se ha calculado que el tamaño de la boca en dos ejemplares estaría alrededor de 20 cm, mientras que en los otros tres casos tuvo que medir el doble o más del doble, pudiendo superar los 40 cm. El grosor de las paredes parece variar en función del tamaño de las vasijas: en los ejemplares con diámetros de 20 cm mide 1,5-2 cm, mientras que en los de mayores dimensiones las paredes presentan un espesor de unos 2,5-3 cm.

El fragmento de litargirio F25081 es de dimensiones reducidas, con un tamaño inferior a 2 cm (4 g de peso); corresponde a una pequeña plancha ligeramente curva; sus superficies son rugosas y de color beige-blancuecino, al igual que los fragmentos de copelas antes descritos. El material al corte tiene un color grisáceo y textura medianamente porosa, con numerosas vesículas de pequeño tamaño (Fig. 5.7).

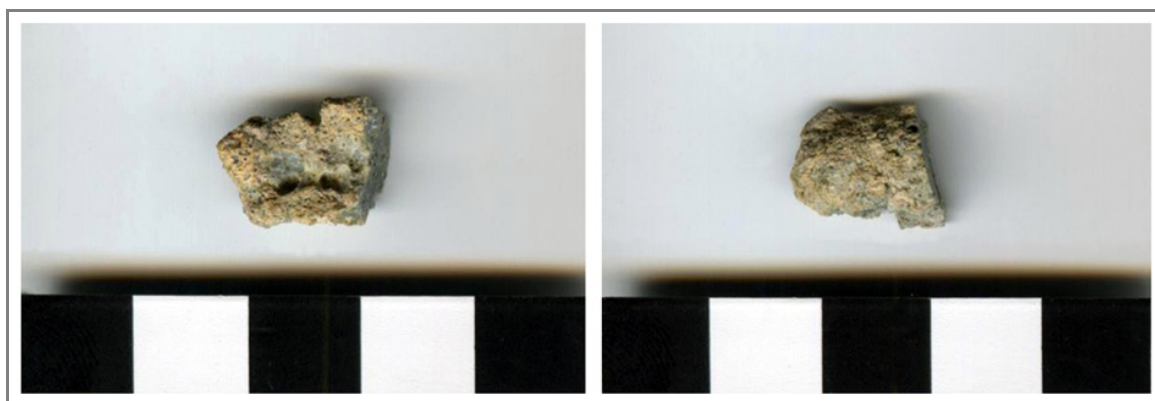


Fig. 5.7. Fragmento de litargirio F25081 procedente de La Fonteta.

Por la forma y el tamaño de esta pieza, similares a las de algunos de los pesos de red para la pesca fabricados en plomo, se pensó inicialmente que pudiera tratarse de un elemento metálico oxidado. Sin embargo, dado que el plomo es poco sujeto a procesos de oxidación y que las piezas análogas seguían manteniendo su núcleo metálico intacto, se tomó en consideración que podría haberse tratado de un subproducto de copelación. De hecho, aunque una de las características de las copelas es su capacidad para absorber los óxidos metálicos que se forman durante el proceso de copelación, esta capacidad va disminuyendo a lo largo de la operación por efecto de una progresiva saturación y transformación de los silicatos cerámicos; por tanto, si se supera el límite, los óxidos

sobrenadan el caldo y deben ser retirados manualmente para que no entorpezcan el proceso de afino.

A este propósito es interesante mencionar la morfología de algunos de los fragmentos de litargirio encontrados en las antiguas minas áticas de plomo de Laurion (Grecia). De acuerdo con Conophagos (1989), los griegos inventaron un método distinto de eliminación del litargirio durante la copelación, que fue retomado posteriormente por los romanos. Éste óxido se retiraba mediante el uso de varillas de hierro que se sumergían varias veces en el caldo y, debido al contraste térmico, el litargirio se solidificaba sobre ellas en forma de “teja” o medio tubo y sería así removido (Conophagos 1989: 277, fig. 4).

La descripción de este proceso para eliminar el óxido de plomo excedente se encuentra también en la obra de Plinio el Viejo, *Historia Natural*, en su Libro XXXIII (105-108) donde define estas varillas como “vericulis ferreis” (Conophagos 1989: 281). En La Fonteta se han encontrado varios ejemplares de varillas de hierro, interpretadas como asadores u *obeloi*, y sería tentador ponerlas en relación con un proceso de este tipo pero, por el momento, no hay evidencias para ello.

Se han seleccionado cuatro fragmentos de copela y el litargirio para su análisis por SEM-EDX.

El estudio de las copelas muestra un material compuesto principalmente por óxido de plomo –en dos casos también con algo de bismuto– y algún otro constituyente de la arcilla de la vasija. El contenido medio de óxido de calcio ronda el 8-12% CaO y el contenido de sílice varía entre el 4,5% y el 15% SiO₂; se han detectado también cantidades menores de otros elementos, principalmente aluminio y magnesio. Asimismo, se han formado distintos silicatos más o menos complejos de plomo con calcio, carbonatos de plomo, y en algunas muestras se han identificado formaciones cristalinas con distintas composiciones, normalmente silicatos ricos en magnesio, calcio y aluminio (principalmente piroxenos, minerales del grupo de la melilita, monticellita y wollastonita). Se han analizado varias inclusiones de plomo, algunas con cantidades apreciables de bismuto.

La muestra de litargirio (F25081) está compuesta casi enteramente por carbonato de plomo; de hecho, es bastante común que por efecto de la deposición el óxido de plomo se transforme en carbonato, es decir en cerusita [Pb(CO₃(OH₂))] (Hess *et al.*

1998: 63; Hunt 2003: 369). Se han detectado también inclusiones de plomo con abundante bismuto, pero no se han encontrado restos de sílice, lo cual excluye que pueda tratarse de un fragmento de copela; además, la morfología de la pieza y el color más grisáceo y uniforme de su sección, lo diferencian claramente de las copelas.

5.2.4 Estudio comparativo y discusión

Como ya se ha mencionado en la introducción a este capítulo, la mayoría de los restos que puedan relacionarse con la metalurgia de plata-plomo proceden de la zona suroeste de la Península Ibérica y se remontan a un momento avanzado del Bronce Final-comienzos del periodo orientalizante. En particular, han sido los centros minero-metalúrgicos de la provincia de Huelva los que proporcionan abundantes testimonios de la explotación de minerales argentíferos, especialmente escorias del tipo generalmente conocido como escorias de turrón o “de sílice libre” (Pérez Macías 1996; Hunt 2003). En estos yacimientos se han recogido también numerosos goterones de plomo, como por ejemplo en el Cerro Salomón, San Bartolomé de Almonte, Huelva, Monte Romero, Peñalosa, etc. (Hunt 2003: 369).

Con respecto a los hallazgos de galena, en la zona suroeste están escasamente documentados –un nódulo procede de las excavaciones de los niveles fenicios arcaicos de la C/ Méndez Núñez en el casco antiguo de Huelva (González de Canales *et al.* 2004: 145)– mientras que son más numerosos los testimonios recogidos en otras zonas peninsulares, tanto en yacimientos fenicios como orientalizantes contemporáneos de La Fonteta. Por ejemplo, sin querer ser exhaustivos, una importante acumulación de este mineral fue encontrada en el asentamiento fenicio de sa Caleta, en la isla de Ibiza (Ramón Torres 2007). Allí se recogieron nódulos de grandes dimensiones y varios fragmentos dispersos en distintas zonas del yacimiento; algunos ambientes parecían dedicados al almacenamiento de este mineral y, en ocasiones, la galena presentaba signos de afectación térmica o estaba parcialmente calcinada (Ramón Torres 1991: 181-182; Rovira Hortalà 2007). Asimismo, en una dependencia adyacente al espacio sagrado de Cástulo en el Cerro de La Muela, se encontraron casi 7 kg de nódulos de galena (Blázquez y Valiente 1982: 418-421).

Por último hay que mencionar también el descubrimiento en el barco más antiguo de los tres hundidos en el Bajo de la Campana (Cabo de Palos, Cartagena), fechado a finales del siglo VII a.C. (Mederos y Ruiz Cabrero 2004), de centenares de nódulos de

galena (Polzer y Pinedo Reyes 2011), documentando que el comercio de subproductos de la copelación coexistió con un transporte de materia prima sin procesar.

Los hallazgos de materiales vinculados claramente a los procesos de copelación son igualmente numerosos aunque, debido a que probablemente venían reducidos nuevamente a plomo y reutilizados en nuevas operaciones metalúrgicas, en los yacimientos metalúrgicos no se suelen encontrar en cantidades especialmente abundantes.

Con respecto a la zona suroeste, en los niveles orientalizantes de la excavación de Corta del Lago en Riotinto, se recogieron varios fragmentos de litargirio y/o copelas (Blanco y Rothenberg 1981: 100; Hunt 2003: 369). Asimismo, durante las excavaciones de la C/ Puerto n. 9 en el casco antiguo de Huelva, se recogieron un fragmento de copela (Hunt 2003: 198) y una pequeña pieza en forma de cazoleta (Fernández Jurado 1988-1989b: 191) que, según S. Rovira Llorens (1995: 486), correspondería al metal solidificado en un fondo de copela durante un proceso que no fue llevado a cabo del todo, ya que presenta un elevado contenido en plata (3,94% Ag).

También el yacimiento de Monte Romero (Almonaster la Real, Huelva) ha proporcionado importantes hallazgos que han contribuido a aclarar varios aspectos del proceso de copelación. En particular se recogieron numerosos fragmentos y doce ejemplares completos de copelas que se encontraron apiladas y apoyadas contra un muro, en asociación con abundantes goterones de plomo.

Se trata de simples vasijas cerámicas de forma ligeramente cónica (Fig. 5.8), en las que el óxido de plomo había impregnado completamente las paredes del recipiente, coherentemente con lo que se ha podido comprobar en otros yacimientos. Todas las copelas habían sido utilizadas y, al estar completamente impregnadas por óxido de plomo, presentaban la fractura cristalina típica del litargirio (Kassianidou 1992b: 138-138). Su diámetro es de aproximadamente 12 cm y, por tanto, es más pequeño que el de los ejemplares de La Fonteta cuyas medidas (unos 20-40 cm), como veremos más adelante, se aproximan más al tamaño de las copelas encontradas en el pecio de Playa de la Isla y en el yacimiento fenicio de la Punta de Los Gavilanes en el Puerto de Mazarrón (Murcia).

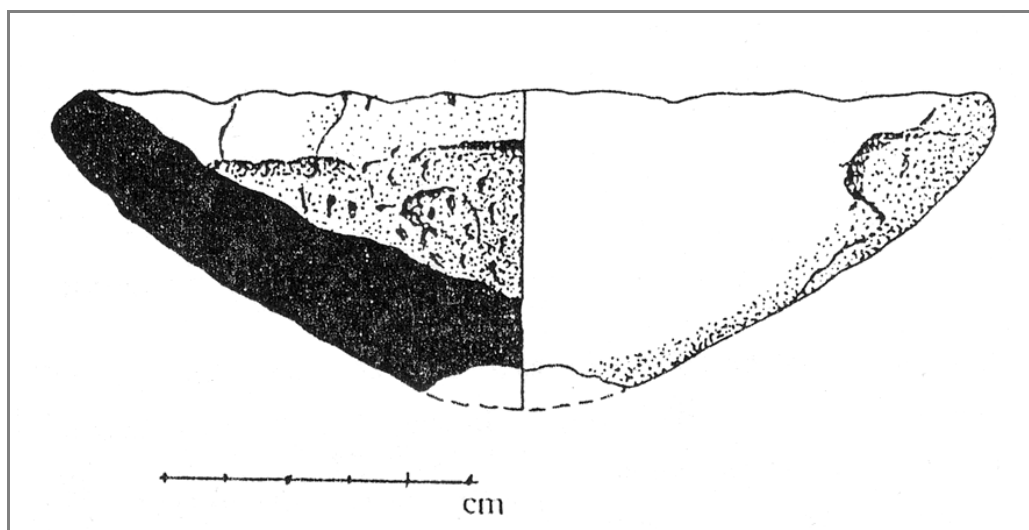


Fig. 5.8. Dibujo de una de las copelas de Monte Romero, según Kassianidou (1992b: 137, fig. 6.9).

Se llevó a cabo un estudio analítico detallado de los materiales de Monte Romero, cuyos resultados proporcionan elementos comparativos de sumo interés para interpretar las muestras de La Fonteta.

Los análisis por difracción de rayos X (DRX) de las pastas cerámicas de las copelas indican que se trata de un material arcilloso común sin presencia de fósforo y, de acuerdo con el análisis por XRF de dos fragmentos de copela, el contenido total de sílice y de óxido de calcio ronda el 5%. Por tanto, no se utilizó ceniza de huesos, un elemento que tradicionalmente se consideraba básico para la fabricación de las copelas ya que incrementaría su capacidad de absorción (Hunt 2003: 368), según indicaban las recetas para la fabricación de copelas encontradas en varias fuentes literarias del siglo XVI (Fernández Jurado 1993). Sin embargo, a diferencia de otros materiales de este tipo, las copelas de Monte Romero presentan en su composición restos de conchas de moluscos y se ha supuesto fueran utilizados probablemente con el mismo fin, es decir para mejorar las cualidades absorbentes de la vasija (Keesmann 1993: 115). Los análisis por DRX confirmaron además la abundante presencia de óxido de plomo y de cerusita como producto de corrosión secundaria.

Por lo que concierne a los goterones de plomo procedentes del mismo yacimiento, se han documentado ejemplares de forma alargada y otros amorfos; estos últimos presentan menor tamaño y ha sido propuesto por L. Kassianidou (1992b: 225-226) que podría existir una relación entre su forma y su posible naturaleza de plomo desplatado o rico en plata. El análisis por absorción atómica (AAS) de más de treinta muestras ha

permitido separar dos grupos de goterones, uno con contenidos de plata de más de 3000 ppm y otros por debajo de 1000 ppm que han sido considerados plomos desplatados.

Los plomos ricos en plata corresponderían a los fragmentos de pequeño tamaño mientras que los más largos serían el subproducto de la reutilización del litargirio (Kassianidou 1992b: 226). Y, aunque a mi juicio esta teoría necesita ser avalada por un muestreo más amplio, resulta interesante que se encuentren almacenados goterones de plomo con distintas concentraciones de plata. Es probable que el litargirio resultante de las operaciones de copelación, y que todavía contendría cierto contenido en plata, fuera reducido de nuevo a metal. Este plomo enriquecido en plata tuvo que reutilizarse en otra operación de copelación hasta recuperar toda la plata contenida y obtener un litargirio o un plomo casi libre de plata.

Un proceso de este tipo es descrito por V. Biringuccio en su obra *De la pirotechnia* (1540) y también Conophagos (1989), mediante el estudio de distintos subproductos de la copelación encontrados en las minas del Laurion (Ática, Grecia), sugiere que el desplate del plomo requería de varias fases de afino. En este mismo sentido parece apuntar una fuente bíblica, *Los Salmos*, en cuyo Capítulo 12 (11.7) se afirma:

“Las promesas del Señor son sinceras
como plata purificada en el crisol,
depurada siete veces”.²

Otra gran acumulación de subproductos de la copelación, correspondiente a varios cientos de kilos –aunque no queda claro si se trata de litargirios o copelas– procede de un ambiente excavado en el yacimiento fenicio del Castillo de Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz) (Hunt 2003: 213-216). Pero sólo se realizaron análisis por DRX de algunos de estos materiales que, como para Monte Romero, permitieron identificar únicamente la presencia de óxido de plomo y de cerusita (Hunt 2003: 369).

Un yacimiento del Bronce Final-Periodo Orientalizante de Extremadura, El Risco (Sierra de Fuentes, Cáceres) también ha proporcionado un interesante elemento probablemente relacionado con la copelación. Se trata de una torta metálica que presenta una composición del 64% Ag, 34% Pb y 1,8% Cu, es decir un plomo argentífero enriquecido o semicopelado cuya elevada riqueza en plata no se justificaría como plomo obtenido en un horno de fundición de minerales argentíferos y, por tanto,

² <http://es.catholic.net/biblioteca/libro.phtml?consecutivo=255&capitulo=3544>

podría corresponder al producto de repetidas operaciones de enriquecimiento en plata del plomo, según un proceso parecido al que se ha mencionado anteriormente para Monte Romero (Gómez Ramos y Rovira Llorens 2001a: 198). Sin embargo, en El Risco no se ha encontrado ningún resto claro de metalurgia extractiva de plomo-plata o del uso de la copelación, con la excepción de algunos goterones de plomo cuya pureza no parece indicar un vínculo directo con la copelación, a menos que no se considere que podrían corresponder al metal resultante de la reutilización de litargirio. En todo caso, según los autores, la pieza de Ag-Pb podría sugerir una comercialización de plomo argentífero enriquecido que vendría sucesivamente refinado.

Para encontrar otros testimonios claros del uso de la copelación en época fenicio-orientalizante hay que trasladarse a la zona del Levante ibérico. Algunos fragmentos de copelas proceden de sa Caleta (Ibiza), de los cuales se han analizado cuatro fragmentos que tienen contenidos de sílice que oscilan entre el 7% y el 13% SiO₂ y abundante óxido de calcio; no se han detectado impurezas relevantes de otros metales (Ramón Torres *et al.* 2011). Estos materiales iban asociados a numerosos fragmentos de galena y a varios goterones de plomo, y se encontraron almacenados en una de las habitaciones del asentamiento (Ramón Torres 1991: 181-182).

Otro descubrimiento de suma importancia ha sido el del pecio de Playa de la Isla, hundido en las aguas del Puerto de Mazarrón (Murcia) y generalmente conocido como “Barco fenicio Mazarrón 2”. El cargamento de este barco, fechado a finales del siglo VII, estaba compuesto por más de 400 “panes” (por un total de aproximadamente 1200 kg) de lo que inicialmente fue clasificado como plomo y que luego se identificó como restos de litargirio y/o copelas (Negueruela *et al.* 2000: 1677). En el marco de un proyecto conjunto del CCHS-CSIC y la Universidad de Tübingen en Alemania, se está llevando a cabo un estudio analítico de una selección de estos materiales. Actualmente sólo disponemos de los resultados de dos fragmentos y su análisis global efectuado en el SEM-EDX muestra un contenido de sílice de alrededor del 8-10% SiO₂ que ha permitido identificarlos como restos de copelas; y también en este caso, como para algunas de las muestras de La Fonteta, se ha detectado abundante bismuto.

Es probable que la mayoría de los materiales que forman el cargamento del pecio corresponda a fragmentos de copelas, como sugieren algunos ejemplares prácticamente enteros en los que se aprecia claramente la forma original de la vasija. Estas copelas, a diferencia de las de Monte Romero, corresponden a platos poco hondos de dimensiones

muy notables que, en los casos en los que ha sido posible medirlos, superan los 40 cm (Fig. 5.9).



Fig. 5.9. Copela procedente del pecio “Barco fenicio 2” de la Playa de la Isla (Puerto de Mazarrón, Murcia).

La importancia de este hallazgo reside principalmente en el hecho de que un cargamento de copelas/litargirio de esta envergadura, nos está indicando que existía un comercio bien establecido de subproductos de copelación. Las “tortas” de óxido de plomo –en las que el contenido de los componentes cerámicos rara vez supera el 25% del total– habrían sido reducidas de nuevo a metal que sería luego utilizado en nuevos procesos de extracción de plata. En este sentido apunta también el ya mencionado descubrimiento de varios centenares de kilos de copelas/litargirio almacenados en una habitación del Castillo de Doña Blanca en Cádiz (Hunt 2003: 213), un yacimiento que tuvo que desempeñar un papel importante en las relaciones comerciales de la época.

En las inmediatas cercanías del lugar de descubrimiento del pecio de Playa de la Isla, en la Punta de Los Gavilanes (Puerto de Mazarrón, Murcia), se está excavando un asentamiento fenicio que tuvo una función principalmente comercial y de taller para la producción de plata. Sus primeras fases de ocupación no están del todo claras desde un

punto de vista estratigráfico pero existen varios elementos que parecen indicar su funcionamiento ya en el siglo VIII-VII a.C. (Ros Sala en prensa).

En este yacimiento se han encontrado numerosos fragmentos de copelas, como nos confirma el análisis SEM-EDX de una selección de muestras en las que se han detectado contenidos residuales de sílice que varían entre el 6% y el 15% SiO₂, junto con abundante óxido de calcio y, en ocasiones, algo de cobre y contenidos apreciables de antimonio.³

Con respecto a su morfología, como en el anterior, se trata de platos anchos pero sólo en unos pocos casos ha sido posible reconstruir su tamaño. Al igual que en La Fonteta, algunos ejemplares miden unos 20 cm mientras que otros rondan o superan los 40 cm de diámetro. Pues, es muy atractiva la idea que el barco encontrado en las aguas del Puerto de Mazarrón transportara los subproductos de la extracción de plata llevada a cabo en la cercana factoría metalúrgica de la Punta de Los Gavilanes en la que se procesaban los minerales del área minera de Cartagena-Mazarrón. Pero, para confirmar esta teoría habrá que esperar a los resultados de los análisis de los isótopos del plomo de estos materiales que están siendo llevados a cabo dentro del mismo proyecto hispano-alemán anteriormente mencionado.

La colonia griega de Ampurias (L'Escala, Girona) también ha proporcionado fragmentos de copela fechados dentro del siglo VI a.C. De acuerdo con los resultados del análisis SEM de estas muestras, su contenido total en sílice es muy variable, oscilando aproximadamente entre 1,4% y más del 12% SiO₂, con cantidades elevadas de óxido de calcio y sin ninguna impureza significativa de otros metales.

Uno de los dos fragmentos estudiados (PA12375) presentaba una sección estratificada en la que, al cortarla y lijarla, se han podido observar unos significativos cambios cromáticos, desde un rojo oscuro hasta un gris blanquecino, que muestran cómo el óxido de plomo fue impregnando gradualmente las paredes de la copela hasta llegar a sustituir casi del todo la cerámica de la vasija (Renzi *et al.* 2008). Y para comprobar si estas variaciones cromáticas correspondían a un cambio en la composición de la copela, se efectuaron por SEM-EDX una serie de análisis globales en varios

³ Los análisis de estos materiales están siendo efectuados por nosotros en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid, dentro de un Proyecto de Investigación de Arqueología de la Universidad de Murcia *Excavación y estudio de las estructuras de pesquería de la Edad del Bronce en Punta de los Gavilanes (P. de Mazarrón, Murcia). Actuación arqueológica 2009* (28/07/2009-31/12/2009), dirigido por la Prof. Dra. M^aM. Ros Sala.

puntos a lo largo de la sección de la muestra, desde la parte superior hacia la zona inferior, en la que todavía quedaba una fina capa de cerámica residual. Se pudo apreciar pues cómo la zona superficial de la cara interna de la vasija estaba casi enteramente constituida por óxido de plomo con escasos restos de sílice, inferiores al 1,5% SiO_2 mientras que, penetrando en la sección, se empezó a detectar una mayor presencia de los componentes cerámicos, hasta superar el 10% de sílice en la zona inferior del fragmento. Estos resultados han confirmado lo que ya se había observado en otros yacimientos en materiales similares, es decir que a pesar de su naturaleza cerámica la vasija cumplía con su función de absorber el litargirio que llegaba a sustituir casi del todo sus componentes arcillosos.

En resumen, todos los análisis actualmente disponibles de fragmentos de copelas muestran una relativa homogeneidad en su microestructura y composición. Durante por lo menos toda la fase prerromana de la extracción de plata por copelación no parece haber habido ningún cambio relevante en la aplicación de esta técnica, ya que –de acuerdo con los resultados de los análisis de algunos fragmentos de copelas recogidos en el yacimiento Ibérico de Cerro de las Balsas-Chinchorro” (La Albufereta, Alicante) (Peris-Vicente *et al.* 2008)–, desde principio del siglo VIII hasta por lo menos el siglo IV a.C. no se aprecian diferencias significativas en la composición de estos materiales.

Se trata principalmente de muestras con contenidos residuales de sílice muy variables que, en contadas ocasiones, llegan a superar el 15% SiO_2 . Suelen presentar abundante óxido de calcio y, a veces, se han detectado contenidos apreciables de antimonio, bismuto o, menos frecuentemente, algo de cobre.

Por último, en los casos en los que se ha podido medir sus contenidos en plata, al igual que en los otros subproductos relacionados con el proceso de copelación (escorias, goterones de plomo y litargirio), se ha observado que las pérdidas de este metal suelen ser inferiores a 1000 ppm Ag y similares a las que se han observado para época romana (Kassianidou 1992b).

Los materiales de La Fonteta no representan una excepción y se encuadran perfectamente en el panorama dibujado por el resto de los materiales estudiados; y en las muestras analizadas por ED-XRF y/o por ICP-OES, las pérdidas residuales de plata son del orden de 0,008-0,08% Ag, mientras que en los tres goterones de plomo se han detectado contenidos de plata de 0,002-0,01% Ag.

5.3 LA METALURGIA COBRE-PLATA-PLOMO EN LA FONTETA

En La Fonteta se han encontrado distintos tipos de materiales relacionados con un posible proceso de obtención de plata a partir de minerales cupro-argentíferos. El análisis por SEM-EDX de trece muestras ha permitido efectuar una división de estos materiales en distintos grupos, de acuerdo con sus distintas morfologías y composición:

- 1) escorias de cobre-plomo;
- 2) escorificaciones de cobre-plomo;
- 3) copelas cobre-plomo;
- 4) restos de fundición cobre-plomo.

Se han analizado dos escorias, un fragmento de escorificación, ocho fragmentos de copelas y tres restos de fundición. La mayoría de estos materiales procede de los vertederos metalúrgicos excavados en el Corte 54-1 y pertenece a las fases I-II del yacimiento (FA), con la excepción de una copela (F41793) que ha sido recogida en la misma zona pero en un estrato asignado a la fase VI (FR). Asimismo, dos de los restos de fundición seleccionados proceden de los niveles de uso de las viviendas metalúrgicas de los Cortes 5 y 7 y pertenecen a la fase III de La Fonteta (Tabla 5.7).

N. Invent.	Tipo	Corte	Estrato	Fase
F41704-1	Escorificación de Cu-Pb	54S/W	B5de	I-II
F41705	Copela Cu-Pb	54S/W	B5f	I
F41716-1	Copela Cu-Pb	54S/W	B6 arena	I
F41778	Copela Cu-Pb	54S/W	B5d	II
F41736-1	Copela Cu-Pb	54S	A5a	II
F41736-2	Copela Cu-Pb	54S	A5a	II
F41793	Copela Cu-Pb	54	A2de	VI
F41785	Copela Cu-Pb	54	B3	II
F41709	Copela Cu-Pb	54N	B3b/4b	I-II
F41737	Escoria de Cu-Pb	54N	B3e1	II
F55004	Escoria de Cu-Pb	1W	B1	II
F11098-2	Gota de fundición	7B	B12c	III
F41774	Resto de fundición	54N	B3b/4b	I-II
F31123	Resto de fundición	5A/S	B9b	III

Tabla 5.7. Información estratigráfica y cronología de los residuos cobre-plomo de La Fonteta, ordenados en función del tipo de material y del corte del que proceden.

5.3.1 Escorias de cobre-plomo

Las escorias de cobre-plomo son porciones de tamaño variable, en general pequeño, que excepcionalmente alcanzan los 5 cm en su dimensión mayor; sus superficies suelen ser de color grisáceo-verdoso con adherencias arcillosas y manchas de sales de cobre. Al corte muestran un material homogéneo, de color gris-verdoso con inclusiones metálicas y de textura bastante compacta (Fig. 5.10).

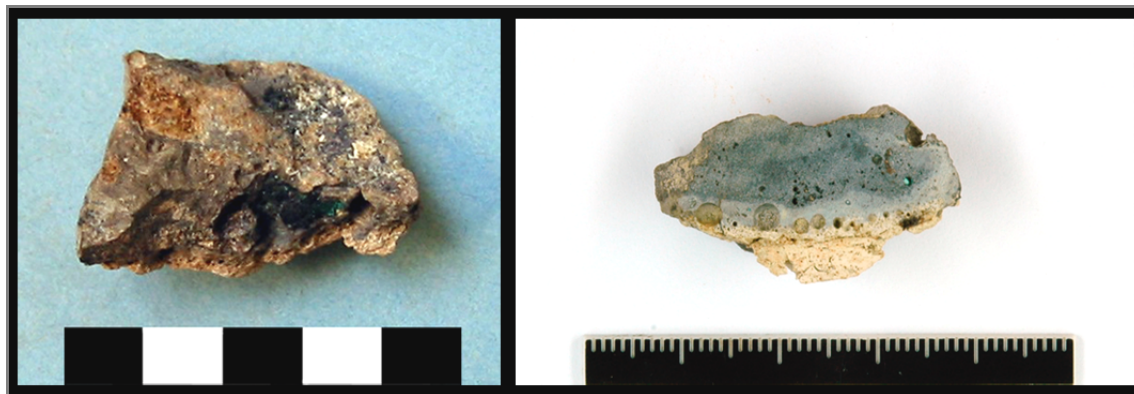


Fig. 5.10. Escoria de cobre-plomo F41737 procedente de La Fonteta.

El análisis microestructural de los dos fragmentos seleccionados para su estudio indica que la matriz está compuesta por silicatos complejos y, en un caso (F41737), corresponde a un material del tipo de la melilita, mientras que en el otro (F55004) corresponde a una enstatita.

En el fragmento F55004 se han detectado inclusiones de plomo con segregados de cobre e inclusiones de cobre con algo de plomo, mientras que en la muestra F41737 las inclusiones analizadas corresponden principalmente a cobre con algo de estaño y hierro, en algunos casos con segregados o zonas ricas en plomo. En esta última se ha analizado también una inclusión de sulfuro de cobre con algo de hierro y plomo, y una amplia zona metálica con estructura dendrítica compuesta por cobre-plomo con abundante bismuto y hierro. De hecho, la presencia de hierro en el sistema, que a veces alcanza cantidades significativas, ha llevado a la formación en alguna zona de la muestra de cristales de magnetita (Fig. 5.11), indicando además que las condiciones redox del ambiente de trabajo tuvieron episodios oxidantes.

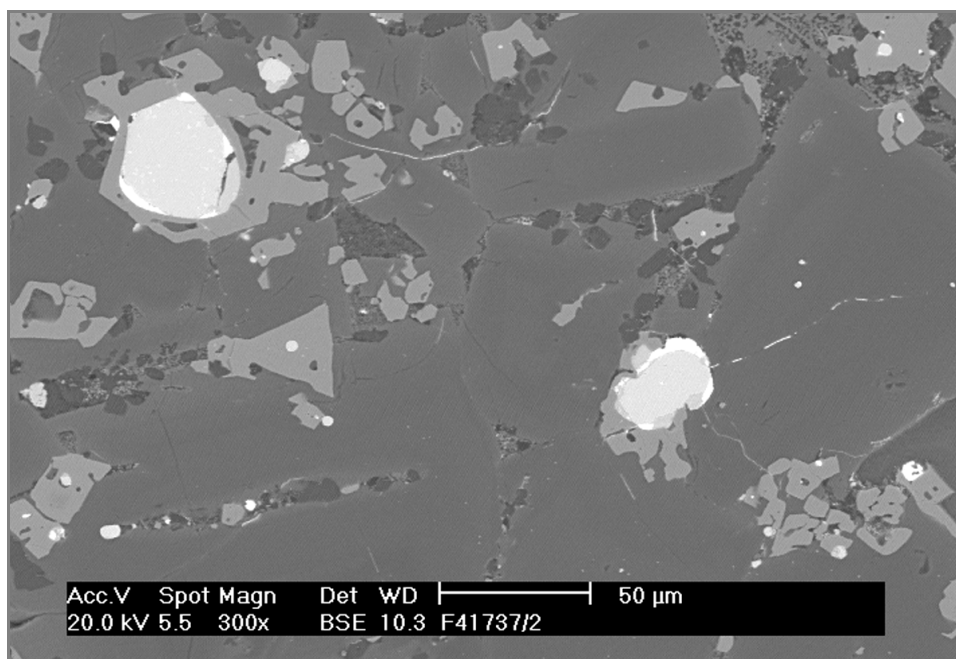


Fig. 5.11. Microestructura de la escoria F41737 procedente de La Fonteta. Se aprecia la presencia de cristales de magnetita (de color gris intermedio). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En ninguna de las dos muestras se han formado vidrios de plomo y, de acuerdo con el análisis global de una de las escorias (F55004), la pérdida de cobre y plomo es del 1,8% Cu y 5,2% Pb, unos valores coherentes con lo que cabe esperar en escorias de esta época⁴.

5.3.2 Escorificaciones de cobre-plomo

En La Fonteta se han encontrado varios fragmentos de vasijas que muestran una gruesa escorificación adherida a su cara interna y que puede penetrar varios milímetros en la cerámica. En general, son fragmentos de pequeño tamaño que rara vez superan los 4 cm, como el que ha sido seleccionado para su estudio analítico.

Esta muestra (F41704-1) mide unos 3x2 cm de tamaño y unos 2 cm de grosor, y la superficie escorificada tiene aspecto de metal oxidado. El material al corte es de color blanquecino con matices verde-azulados y su textura es bastante compacta (Fig. 5.12).

Desde el punto de vista analítico, la matriz fundida es mayoritariamente un vidrio al plomo en la que se dispersan cristales de feldespatos. Presenta amplias zonas metálicas

⁴ En realidad no existen datos arqueométricos comparativos para este periodo, a excepción de las escorias de plomo del yacimiento del Hierro Antiguo de El Calvari (Tarragona), del tipo de “sílice libre”, cuyas pérdidas son muy superiores debido, principalmente, a la formación de vidrio al plomo. Véase Gener *et al.* 2007.

—compuestas principalmente por plomo con un 35% de cobre y menos de un 2% de estaño—, que en general se encuentran parcialmente corroídas.



Fig. 5.12. Escorificación de cobre-plomo F41704-1 procedente de La Fonteta.

La utilización de vasijas como contenedores para reducir minerales de cobre cuenta en España con una larga tradición que se remonta a la época calcolítica y que perdura hasta tiempos históricos (Rovira Llorens 2005a). Por tanto, se podría suponer que los fragmentos cerámicos de La Fonteta con escorificaciones de cobre-plomo corresponden a restos de vasijas de reducción de minerales de cobre argentífero a los que se ha añadido mineral de plomo o litargirio como captador de la plata, dando como resultado una aleación de cobre-plomo-plata que sería luego copelada.

5.3.3 Copelas cobre-plomo

El registro arqueológico de La Fonteta ha proporcionado numerosos fragmentos de copelas cobre-plomo de distinto tamaño, oscilando desde los 2,5 cm a los 11 cm del ejemplar de mayores dimensiones. Desde el punto de vista morfológico son bastante homogéneos y corresponden a vasijas de tendencia plano-convexa. En general, no ha sido posible reconstruir el diámetro original de estas vasijas, sólo en el caso del ejemplar más grande (F41778) se ha podido calcular que su boca mediría unos 20 cm (Fig. 5.13); el grosor de las paredes suele ser de aproximadamente 1-2 cm.



Fig. 5.13. Copela cobre-plomo F41778 procedente de La Fonteta.

La cara interna de estas vasijas está enteramente recubierta por sales de cobre con alguna incrustación terrosa, mientras que las paredes externas suelen presentar restos de material arcilloso (Fig. 5.14). En sección el material tiene un color rosado con matices verdosos y motas blancas; su textura es bastante densa y compacta. En algunos casos se pueden apreciar a simple vista la presencia de inclusiones metálicas.

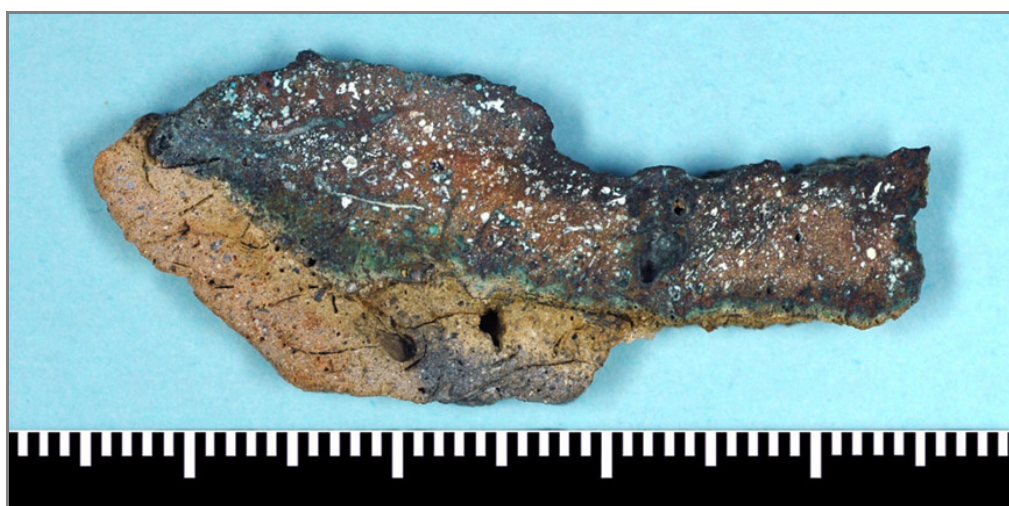


Fig. 5.14. Macrografía de la sección de la copela cobre-plomo F41716-1 procedente de La Fonteta.

Solamente en el caso del fragmento F41793 se observa una sección estratificada en la que la zona inferior corresponde –como para los otros fragmentos– a un material

de color verde-rosado con motas blancas e inclusiones metálicas, mientras que la zona superior presenta un color marrón uniforme y aspecto metálico (Fig. 5.15).

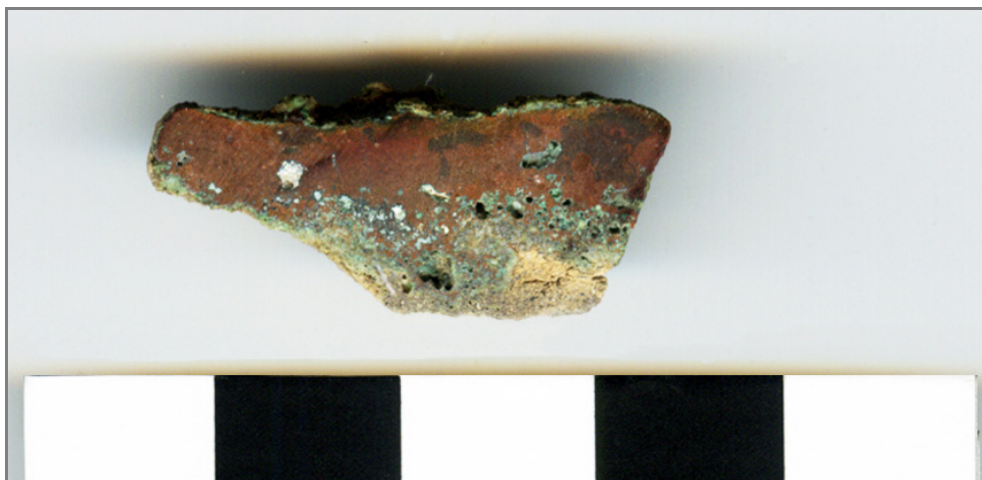


Fig. 5.15. Macrografía de la sección de la copela cobre-plomo F41793 procedente de La Fonteta.

Desde el punto de vista analítico, los componentes principales de estas copelas son óxido de plomo y óxido de cobre, en algunos casos con contenidos apreciables de bismuto. Se observan además formaciones cristalinas de piroxeno, wollastonita, y de minerales del grupo de la melilita; en algunas zonas de las muestras se han formado vidrios de plomo y cobre (Fig. 5.16).

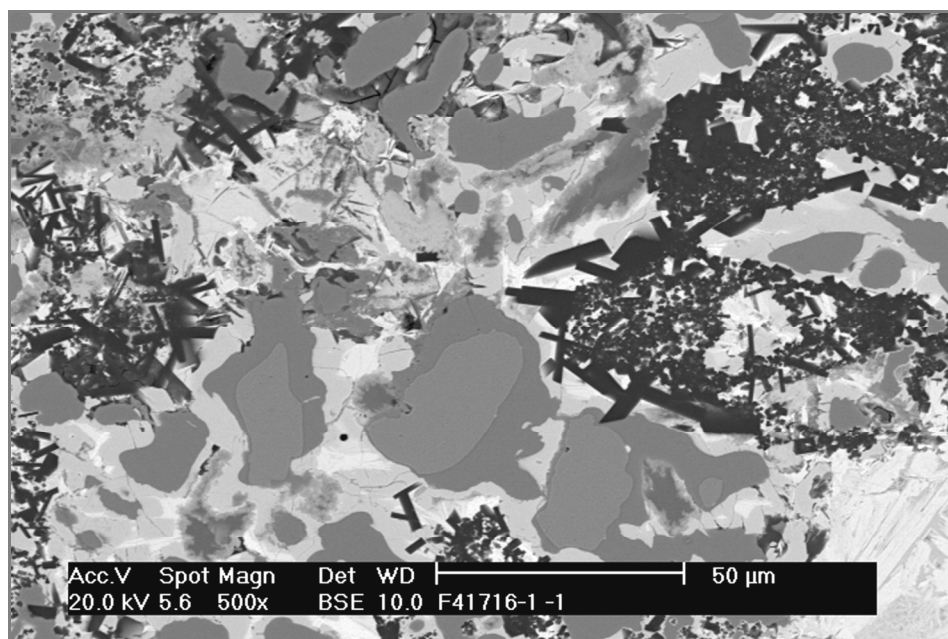


Fig. 5.16. Microestructura de una de las copelas cobre-plomo analizadas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Asimismo, hay amplias zonas constituidas enteramente por óxido de plomo y se han detectado inclusiones de plomo, de cobre-plomo con bismuto y varios granos de cobre metálico, algunos de los cuales presentan segregados de plomo.

En los casos en los que ha sido posible efectuar un análisis global, se observa que los contenidos de óxido de plomo oscilan entre 25% y 45% PbO, y los de óxido de cobre entre 15% y 25% CuO, y en todas las muestras el contenido de plomo es superior al de cobre. Los porcentajes de sílice detectados pueden variar entre 14% y 33% SiO₂, y los de óxido de calcio están entre 9% y 22% CaO, y se han detectado también otros constituyentes menores (Tabla 5.8).

Análisis	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	CuO	PbO
F41705	5,04	5,78	27,74	0,94	9,39	1,67	12,12	37,33
F41716-1	1,93	4,43	14,46	nd	8,64	nd	23,57	46,98
F41736-1	6,54	5,07	28,0	0,44	6,67	1,66	18,08	33,53
F41778	1,23	3,9	17,07	0,59	7,53	1,25	22,06	46,37
F41793	2,96	3,66	14,63	nd	13,89	0,67	18,31	45,89

Tabla 5.8. Resultados SEM-EDX (expresados como óxidos; % en peso) de los análisis globales efectuados en las distintas muestras; nd: no detectado.

Del fragmento F41716-1, que todavía conservaba en su cara externa una espesa capa de material arcilloso, se han efectuado análisis globales en distintas zonas de la muestra, desde la capa inferior de naturaleza cerámica hasta el borde superior que corresponde al interior de la vasija (Fig. 5.14). Esta serie de análisis ha permitido comprobar cómo el contenido en sílice va disminuyendo a medida que nos acercamos a la zona superior de la sección, incrementándose la cantidad de óxido de plomo y de cobre, según se muestra en la Tabla 5.9:

Análisis	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	CuO	PbO
F41716-1/1	0,49	1,43	3,96	54,83	nd	0,92	1,27	34,83	nd	2,27	nd	nd
F41716-1/2	0,53	3,57	3,71	49,67	0,91	1,67	0,47	34,25	nd	2,45	1,43	1,33
F41716-1/3	0,96	4,9	4,23	27,08	0,41	nd	0,46	47,26	nd	2,96	4,11	7,61
F41716-1/4	0,66	2,37	4,78	33,1	1,36	nd	1,12	22,86	nd	2,64	4,49	26,61
F41716-1/5	1,05	1,87	4,1	26,33	nd	nd	0,75	13,98	0,3	2,66	9,75	39,21
F41716-1/6	nd	2,19	3,77	15,27	nd	0,91	0,88	4,62	nd	nd	21,27	50,17

Tabla 5.9. Resultados SEM-EDX (expresados como óxidos; % en peso) de los análisis globales efectuados en distintas zonas de la sección de la muestra F-41716-1; nd: no detectado.

De las copelas analizadas, sólo dos muestras presentan una morfología distinta a las anteriormente descritas. Son pequeños fragmentos nodulares de aproximadamente

3x2,5 cm de tamaño y 2 cm de grosor, y tienen aspecto y textura metálicos (Fig. 5.17). En ambos casos la cara superior es bastante regular, con alguna incrustación terrosa y adherencias de sales de cobre; sólo en un caso (F41736-2) la cara inferior corresponde a una espesa capa de arcilla (aprox. 0,5 cm). El material al corte es heterogéneo, tiene color morado-marrón y aspecto metálico; su textura es densa y compacta.



Fig. 5.17. Macrografías de las secciones de las copelas cobre-plomo F41785 y F41736-2 procedentes de La Fonteta.

También en estas dos muestras los componentes principales corresponden a óxidos de plomo y de cobre, en un caso (F41785) con mucho bismuto; se han detectado además cristales de silicio-calcio con mucho plomo, silicatos de plomo-cobre, bastones de akermanita y zonas de feldespato. La F41785 presenta también varios granos globulares de cobre metálico e inclusiones formadas por cobre-plomo-bismuto, aunque la mayoría son sólo de cobre-plomo con contenidos muy variables de los dos elementos.

Debido a la presencia de amplias zonas de aspecto metálico, el simple examen macroscópico de estas muestras nos sugirió que podría haberse tratado de restos de “litargirio”⁵. Sin embargo, de acuerdo con su análisis SEM-EDX, la microestructura es similar en todos los ocho casos estudiados, ya que también en estos fragmentos se han detectado constituyentes comúnmente presentes en un material arcilloso. El contenido total de sílice ronda el 7-8% SiO₂ así que cabe suponer, como para las copelas vinculadas a la metalurgia de plomo-plata, que los óxidos de plomo y de cobre hayan penetrado en las paredes de la vasija para llegar a sustituir gradualmente la cerámica.

⁵ Se ha utilizado la expresión “litargirio” para denominar este subproducto de la copelación, a sabiendas de que en la metalurgia cobre-plomo-plata el material desplataado no es sólo litargirio sino una mezcla de litargirio y óxido de cobre.

En todos los casos en los que ha sido posible efectuar un análisis semicuantitativo por ED-XRF, la pérdida residual de plata es del orden de 0,005-0,01% Ag, y en dos casos está por debajo del límite de detección del espectrómetro empleado. Este dato es muy interesante ya que podría estar indicando que la captación del metal precioso en estos procesos de extracción era altamente eficiente.

5.3.4 Restos de fundición de cobre-plomo

Los tres restos de fundición de cobre-plomo seleccionados corresponden a dos pequeños nódulos (F31123 y F41774) y una pequeña gota de metal (F11098-2).

Los nódulos tienen aproximadamente 2-3 cm de tamaño y 1,5 cm de grosor; las superficies se encuentran fragmentadas y están enteramente recubiertas por oxidaciones cobrizas. Al corte el material tiene aspecto y textura metálica (Fig. 5.18).

Uno de ellos, F31123, está compuesto por un 74% de cobre y un 24% de plomo, con un contenido apreciable de bismuto (aproximadamente un 2% Bi) y algo de estaño (0,5% Sn). Asimismo, se han analizado varios segregados de plomo de composición compleja que presentan cantidades variables de otros elementos, en particular cobre, estaño, arsénico, bismuto, con algo de antimonio y plata.

El otro resto de fundición, F41774, presenta una matriz constituida por cobre metálico con abundante plomo segregado, y se han detectado zonas de sulfuro de plomo con trazas de cobre. De acuerdo con su análisis global, esta muestra tiene aproximadamente un 56% de cobre y un 44% de plomo.

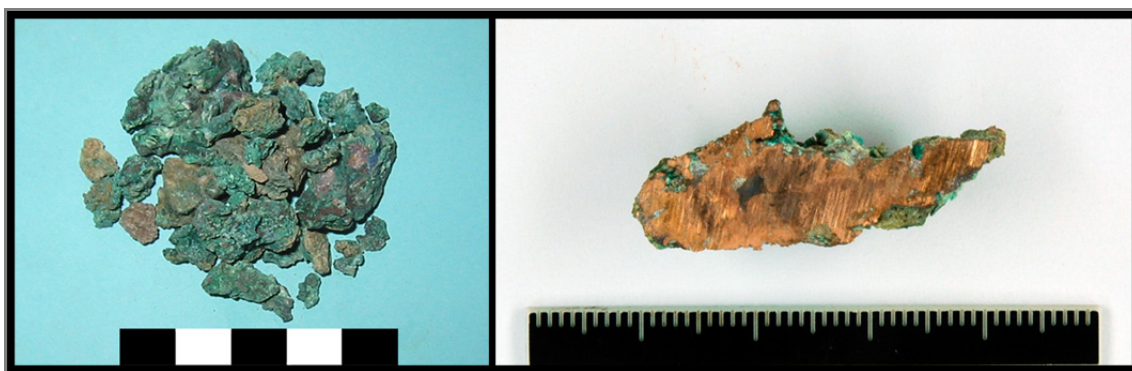


Fig. 5.18. Restos de fundición de cobre-plomo F41774 y macrografía de la sección del goterón metálico F31123 procedentes de La Fonteta.

La gota de fundición analizada (F11098-2) tiene una sección de tendencia ovalada y mide 0,58x0,46 cm; su superficie está enteramente recubierta por sales de cobre y estaba adherida a un fragmento vidriado de tobera de sección cilíndrica.

Está compuesta por un 63% de cobre y un 32% de plomo y se encuentra parcialmente corroída, como indica la presencia de cloro (5% Cl) en la matriz del metal. Se han detectado islotes de óxido de cobre, zonas más ricas en cobre metálico y otras con mayores contenidos de plomo.

Estos goterones metálicos han sido examinados también por microscopía óptica, y en los tres se aprecia la presencia de abundantes segregados de plomo y de amplias zonas de corrosión del metal. Todos presentan granos de gran desarrollo, una estructura que corresponde a un enfriamiento muy lento y que permite interpretarlos como subproductos resultantes de operaciones para la obtención de metal en una estructura de combustión o en una vasija de uso metalúrgico y no como restos de fundición caídos de un crisol durante el vertido del caldo metálico.

Los resultados analíticos de todas las muestras descritas en este capítulo –y que se presentan de manera detallada en fichas individuales en el Anexo a esta Tesis– son coherentes con la naturaleza de los materiales escoriáceos interpretados como subproductos resultantes de las distintas operaciones de extracción de plata a partir de minerales cupro-argentíferos.

5.3.5 Estudio comparativo y discusión

A pesar de las numerosas investigaciones llevadas a cabo en los centros minero-metalúrgicos de la zona suroeste de la Península Ibérica y de los cada vez más abundantes hallazgos de materiales vinculados a la producción de metales efectuados en distintos yacimientos fenicios, todavía no se han documentado piezas análogas a las que han sido recogidas en La Fonteta y que se han presentado en el apartado anterior.

Para época romana, el yacimiento de Xanten en Alemania ha proporcionado algunas copelas cobre-plomo y otros residuos asociados que han sido puestos en relación con actividades de recuperación y afino de plata (Rehren 1997). Para explicar la composición de los materiales cobre-plomo de La Fonteta también se ha tomado en cuenta esa posibilidad, es decir que se tratara de subproductos de operaciones de afino de aleaciones de plata rebajadas con cobre (Bayley y Eckstein 1997; 2006). Sin embargo, esta opción resulta improbable porque el afino de platas bajas no era una práctica común en la Península Ibérica durante la fase cronológica objeto de esta Tesis.

Además, el análisis por ED-XRF de 67 objetos de plata de procedencia peninsular⁶, con una cronología que va desde el siglo VIII hasta el siglo VI a.C., muestra que en la mayoría de los casos se trata de plata pura (>97% Ag); unos pocos elementos metálicos (un 4,5% del total de los objetos analizados) presentan un contenido de cobre mayor del 5% Cu y solamente en un caso la cantidad total de cobre supera el 10% Cu (Renzi *et al.* 2009: 2594). Por lo tanto, sugerimos que estos materiales cobre-plomo posiblemente estén vinculados a procesos de obtención de plata a partir de minerales cupro-argentíferos, una interpretación que resulta totalmente novedosa y que puede abrir una interesante línea de investigación que no tiene antecedentes arqueológicos actualmente documentados.

Como se ha explicado en la introducción a este capítulo, a partir del siglo XV d.C. existen varias fuentes literarias que documentan el uso de un proceso metalúrgico, el de la licuación, empleado tanto para el desplatado de cobres con elevados contenidos en plata como para la extracción del metal noble de minerales argentíferos de tipo complejo (*Seigerprozess*). Nosotros proponemos pues que en La Fonteta se estuvieran llevando a cabo operaciones de este tipo para extraer la plata de minerales cupro-argentíferos como alternativa, y en paralelo, al mejor conocido aprovechamiento de minerales plomo-argentíferos o de jarositas. Es probable que el elevado contenido en plata de estos minerales de cobre hiciera su aprovechamiento igual o más rentable que el de los minerales de plomo-plata.

En La Fonteta el análisis de una escoria de reducción de cobre en la que se han detectado inclusiones metálicas con segregados de plata (F31125), así como la de una escorificación en vasija de reducción que también presentaba cobre con plata (F61030), nos confirman la existencia y el aprovechamiento de minerales de cobre argentífero. Asimismo, la presencia en el asentamiento fenicio de La Rebanadilla (Málaga) de distintos materiales de base cobre ricos en plata, apuntan al aprovechamiento de minerales de este tipo. De estos materiales se han analizado una escoria de reducción de cobre y una de co-reducción para producir bronce que presentan inclusiones de cobre con segregados de plata; también un fragmento de lingote de cobre tiene un contenido de plata de aproximadamente el 1% Ag, con fases ricas en arsénico, antimonio y plomo. Asimismo, un resto de fundición de cobre presenta varios segregados de composición

⁶ Estos análisis han sido llevados a cabo y estudiados por el Prof. Dr. S. Rovira Llorens y el Dr. I. Montero Ruiz dentro del proyecto *Arqueometalurgia de la Península Ibérica*.

compleja, con plata, bismuto, plomo, arsénico y antimonio, y dos láminas de bronce tienen un 0,1-0,2% Ag.⁷

Por tanto, dado que hay clara evidencia de que se estuvieran aprovechando minerales cupro-argentíferos, no resulta una hipótesis tan descabellada sugerir que los fenicios intentaran recuperar el metal noble del cobre.

Según la posible cadena operativa propuesta para este método de obtención de plata (véase la introducción a este capítulo), los materiales de La Fonteta nos documentarían varias de las etapas previstas. Como se ha mencionado anteriormente, la escoria y la escorificación de cobre con plata analizadas son testimonios del uso de este tipo de minerales, cuya reducción tendría como producto resultante una masa metálica de Cu-Ag que posteriormente se refundiría con plomo para que éste actuara como captador del metal noble. Actualmente en La Fonteta no tenemos evidencia de estas aleaciones de Cu-Ag o Cu-Pb-Ag, pero se debe hacer notar que hallazgos de este tipo no son comunes en ningún yacimiento antiguo.

El primer paso del proceso de licuación corresponde a la reducción del mineral cupro-argentífero y, como ya se ha sugerido, existe la posibilidad de que se añadiera directamente mineral de plomo (o litargirio) para obtener por co-reducción una masa metálica Cu-Pb-Ag (segundo paso) que sería luego copelada. La presencia en La Fonteta de las escorias y de la escorificación de cobre-plomo, de las que también se han analizado algunas muestras, parece sugerir esta posibilidad; sin embargo, en caso de que así fuera, el hallazgo de escorias de cobre con inclusiones de plata indica que se estarían utilizando los dos métodos, es decir la reducción de los minerales de cobre para obtener una masa Cu-Ag y la co-reducción con minerales de plomo en la que se produciría una aleación Cu-Pb-Ag.

En el tercer paso propuesto, la copelación del régulo de Cu-Pb-Ag obtenido, se produciría la plata como producto primario y litargirio/copelas como subproductos. Estos últimos no estarían compuestos solamente de óxido de plomo y de los eventuales materiales arcillosos residuales como en la metalurgia de plomo-plata, sino que en este caso tendrían también cantidades elevadas de óxido de cobre. Los ocho fragmentos analizados de La Fonteta parecen corresponder a este tipo de material.

⁷ RENZI, M. y MONTERO RUIZ, I. inédito: *Estudio analítico de los materiales arqueometalúrgicos procedentes del yacimiento de La Rebanadilla (Málaga)*.

Sucesivamente, estos litargirios y copelas tan ricos en óxidos de plomo y de cobre podrían ser reciclados para extraerles dichos metales mediante un proceso simple de reducción, obteniendo de esta manera una aleación de cobre-plomo, de las que también hay evidencia en el yacimiento. Otra posibilidad a tener en cuenta es que estos materiales fueran reaprovechados en operaciones de co-reducción con casiterita para conseguir bronce ternarios. Algunas escorias Cu-Sn-Pb, de las que se ha hablado en la sección dedicada a la metalurgia de base cobre (Cap. 4), podrían corresponder a subproductos de este tipo (Renzi *et al.* 2007).

Otro yacimiento fenicio de la provincia de Málaga próximo a La Rebanadilla, el Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga), ha proporcionado datos de fundamental importancia para completar las posibles etapas de la cadena operativa para este proceso de obtención de plata. De este yacimiento S. Rovira Llorens ha podido analizar dos fragmentos de copelas, actualmente inéditos,⁸ que coinciden estructuralmente y analíticamente con los de La Fonteta. Las fases predominantes son óxidos de plomo, en algunos casos con bismuto, óxido de cobre y óxidos de cobre-plomo-bismuto; en determinadas zonas del material se han formado grupos de bastones de akermanita.

Se ha analizado también una muestra de sumo interés; se trata de un pequeño régulo metálico cuya composición global es de aproximadamente 79% Ag, 12 % Cu, 5% Pb y 4% Bi, es decir, un producto semiacabado de la copelación. Las impurezas de esta plata nos sugieren, como ya se ha supuesto para los de Pb-Ag, que se necesitarían de varios procesos de afino para poder alcanzar la pureza requerida. Este hallazgo nos documenta pues el paso intermedio del proceso de licuación del que no teníamos evidencia en La Fonteta. Además, su asociación con las copelas cobre-plomo y la presencia en ambos de abundante bismuto, sugiere que existe una estrecha relación entre estos materiales y/o entre la materia prima utilizada en estos procesos de extracción de la plata llevados a cabo en el Cerro del Villar.

La presencia de bismuto ha sido detectada también en muchos de los residuos de la metalurgia Pb-Ag y en varios de los restos de copelación cobre-plomo procedentes de La Fonteta, mientras que no se ha detectado en ninguna de las escorias de base cobre analizadas. El bismuto suele ser un acompañante común en las mineralizaciones de

⁸ Quiero agradecer a la Prof. Dr. María Eugenia Aubet, a la Dr. Ana Delgado y al Dr. Mark Hunt, que se está encargando del estudio de los materiales no-ferrosos del Cerro del Villar, la posibilidad de presentar los resultados analíticos de las muestras arriba descritas.

plomo, por lo que su presencia en los materiales cobre-plomo de La Fonteta habría sido aportada por el plomo y no por el cobre. Por tanto, la detección de bismuto en todos estos materiales relacionados con la obtención de plata nos permite sugerir una relación directa entre ellos, indicando que podría tratarse de subproductos obtenidos en distintos procesos metalúrgicos pero utilizando el mismo mineral de origen.

Evidencias de un proceso similar para extraer la plata de mineralizaciones cupro-argentíferas complejas han sido documentadas en un yacimiento cordobés de época romana, La Loba de Fuenteovejuna (Domergue y Tollon 2002). En este caso los minerales son sulfuros, y los autores proponen un proceso de recuperación de plata a partir de la mata cobre-plata. Las numerosas inclusiones metálicas atrapadas en las escorias de La Loba contienen plomo, cobre, antimonio, plata, hierro y arsénico en cantidades variables. Sin embargo, son muy numerosas las inclusiones de mata, lo cual constituye una diferencia sustancial con las escorias de La Fonteta e indica que nos hallamos ante procesos metalúrgicos diferentes (Renzi *et al.* 2007).

Keesmann y Hellermann (1989: 108) mencionan la existencia de una posible metalurgia de cobre-plomo-plata también en el yacimiento fenicio del Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga), pero desafortunadamente no se proporciona ninguna información sobre los residuos eventualmente relacionados con este tipo de procesos.

Por último, en el yacimiento fenicio portugués de Quinta do Almaraz (Cacilhas, Almada) se han hallado dos fragmentos de vasijas metalúrgicas con escorificaciones adheridas a su cara interna, cuyo análisis por ED-XRF indica que fueron empleadas en operaciones para la producción de metales nobles. En uno de estos fragmentos se ha detectado principalmente plata acompañada por plomo, bismuto y cobre, mientras el segundo presenta plata con abundante oro, con plomo y cobre. Según Araújo *et al.* (2004: 744; 2005: 139), si el segundo de los fragmentos analizados puede ponerse en relación con procesos de afino de oro, el primero pertenecería a una vasija empleada en el procesamiento de jarositas para obtener plata utilizando el plomo como captador. Sin embargo, la escasa presencia de hierro parece apuntar más bien al aprovechamiento de otro tipo de minerales, posiblemente minerales cupro-argentíferos del tipo de los que se estaban utilizando en La Fonteta y en el Cerro del Villar.

En resumen, a la luz de todos los datos aportados, hay indicios suficientes que documentan el uso en el siglo VIII a.C. de minerales cupro-argentíferos y para considerar la posibilidad de que se practicara una metalurgia extractiva de plata a partir

de este tipo de recursos. Por tanto, los materiales de La Fonteta y del Cerro del Villar actualmente constituyen los testimonios más antiguos del uso de procesos de licuación.

6. LA METALURGIA DEL HIERRO

6.1 INTRODUCCIÓN

El comienzo del uso del hierro es un tema todavía muy debatido. Los primeros hallazgos proceden de contextos muy antiguos de Próximo Oriente; se trata de un escaso número de objetos ornamentales que han sido fechados entre el VI y el IV milenio a.C., y generalmente se asume que fueron manufacturados con hierro de origen meteórico y no con metal resultante de procesos extractivos (para una discusión exhaustiva sobre el posible origen meteórico de estos primeros artefactos en hierro véase, por ejemplo, Waldbaum 1980; Wertime y Muhly 1980; Pleiner 2000; Buchwald 2005). Durante el III milenio a.C. los testimonios del uso del nuevo metal empiezan a ser más abundantes, pero es solamente en la segunda mitad del II milenio a.C. cuando se observa un aumento considerable de hallazgos de objetos de hierro, y alrededor del siglo X a.C. el hierro ya se puede considerar un metal de uso relativamente común (Wertime y Muhly 1980: 69-83).

Sin embargo, aunque actualmente parece que varios de los objetos procedentes de contextos tempranos de Próximo Oriente habían sido elaborados con metal obtenido mediante procesos extractivos, apenas se han encontrado evidencias de operaciones metalúrgicas para la producción de hierro (Waldbaum 1978: 65; Craddock 1995: 259; Pleiner 2000: 7-8). Sólo unos pocos yacimientos del Mediterráneo oriental han proporcionado restos que puedan adscribirse a las primeras fases de la siderurgia – como, por ejemplo, Tel Yin ‘am en Israel y Kamid el-Loz en Líbano, en los que se han recogido escorias fechadas en el siglo XIII a.C.– pero, en muchos casos, la información disponible es escasa o su interpretación resulta poco clara (Veldhuijzen y Rehren 2007).

En el mundo occidental la situación arqueológica actual no se muestra muy distinta a la de Oriente Próximo; los testimonios más antiguos del uso del hierro no son subproductos de la obtención de este metal sino objetos, como los hallazgos realizados en Sicilia y en Cerdeña en contextos de Bronce Final (Lo Schiavo 1988; Delpino 1989-1990), y habrá que esperar hasta principios del I milenio a.C. para encontrar claros restos de producción de hierro.

Por lo que concierne a la Península Ibérica, se han documentado varios artefactos procedentes de contextos arqueológicos fechados en el primer cuarto del I milenio a.C. (1000-750 cal. d.C.); la mayoría de ellos han sido recogidos en centros indígenas de Portugal, cubriendo una amplia área que incluye las Beiras, Estremadura y el Alentejo (Vilaça 2006). Otros objetos de hierro proceden de contextos del Bronce Final de la zona centro-occidental de España (Almagro Gorbea 1993; Pereira Sieso *et al.* 2003). Y a este propósito cabe mencionar que en todos los casos, tanto para Portugal como para España, se trata de yacimientos en los que ha sido documentada la presencia de materiales de importación y bienes de prestigio de origen mediterráneo y atlántico, mientras que en ninguno de ellos se han hallado residuos de operaciones para la producción de hierro (Renzi *et al.* en prensa_A).

La tecnología siderúrgica parece haber alcanzado las costas del Mediterráneo central y occidental sólo a comienzos del primer milenio a.C., cuando se produjo una intensificación de las relaciones comerciales entre fenicios y comunidades indígenas. En estos momentos de transición entre el Bronce Final y la Edad del Hierro se generalizan el uso y la producción del nuevo metal, coincidiendo con una presencia más estable de los colonos fenicios en el territorio. De hecho, en la Península Ibérica las evidencias más antiguas de procesos pirometalúrgicos relacionados con la obtención de hierro proceden de varios centros fenicios fechados entre finales del siglo IX y comienzos del siglo VIII cal. d.C. (Torres 1998; Renzi *et al.* en prensa_A). Se trata de un número todavía reducido de hallazgos, principalmente escorias, que en la mayoría de los casos no han sido objeto de estudios exhaustivos. Por tanto, la tecnología para la producción del hierro en sus inicios sigue siendo en gran medida un tema desconocido.

Los procesos metalúrgicos para su obtención eran muy distintos respecto a los de obtención de los metales no-ferrosos. Debido al alto punto de fusión del hierro (1.538°C) y a las limitaciones de la época para alcanzar temperaturas tan elevadas, el metal no podía llegar al estado líquido. Por tanto, durante el proceso de reducción, se procuraba que la escoria licuase para separarla de la masa metálica que se quedaba en estado esponjoso. Esta esponja de hierro bruto, llamada lupia, solía tener una composición muy heterogénea con abundantes inclusiones de escorias, relictos de mineral no reducido, restos de carbón, etc., y tenía que ser depurada en sucesivos procesos metalúrgicos para expulsar mediante martilleo las impurezas presentes (Fig. 6.1). Finalmente, una vez purificada la masa de hierro, ésta se trabajaba por deformación plástica (forja) para darle la forma deseada (Fig. 6.2).



Fig. 6.1. Proceso de purificación y corte de una lupia de hierro durante un experimento de Arqueometalurgia organizado por la *Historical Metallurgy Society*. Septiembre 2010, West Dean College de Chichester (Inglaterra, Reino Unido).



Fig. 6.2. Operaciones de martilleo de una barra de hierro durante un experimento de Arqueometalurgia organizado por la *Historical Metallurgy Society*. Septiembre 2010, West Dean College de Chichester (Inglaterra, Reino Unido). Foto S. Rovira Llorens.

En todas estas fases del proceso siderúrgico se producen residuos escoriáceos, tanto en las operaciones de obtención del metal a partir de minerales como en las de post-reducción para la purificación de la lupia y en la forja propiamente dicha. Los tipos principales de subproductos que se forman en los distintos procesos corresponden a:

- escorias de metalurgia primaria o de reducción;
- escorias de post-reducción:
 - escorias de afino de lupias;
 - escorias de forja o “calotas” de fragua;
- microresiduos de forja (laminillas y globulitos).

Sin embargo, debido a la general heterogeneidad que caracteriza los materiales escoriáceos en las fases tempranas de la producción de hierro y también por la escasez de estudios especializados disponibles, su clasificación e interpretación puede resultar problemática; y en muchos casos no es posible determinar exactamente a qué fase de las operaciones para la producción del hierro se vinculan los distintos materiales.

Todas las escorias formadas a lo largo de la cadena operativa del hierro tienen una característica común: se trata de compuestos de hierro, en general silicatos, que superficialmente toman coloraciones ferruginosas que van de los amarillos limoníticos a los pardos casi negros de la goethita. La excepción son las escorias de sangrado en las que predomina un silicato estable, la fayalita, y que presentan superficies de color grisáceo con alguna mancha ferruginosa (Rovira Llorens y Renzi 2010).

En general, las escorias de reducción presentan morfologías y tamaños muy variados. Su formación y características físicas dependen de factores tales como el tipo de estructura de combustión en las que se han producido, la composición de los minerales empleados y su ganga, la eventual adición de minerales escorificantes (fundentes), etc.

Los principales tipos que se suelen encontrar en un yacimiento arqueológico son:

- las escorias llamadas “de horno” (Gómez Ramos y Rovira Llorens 2001b), que corresponden a bloques más o menos compactos y reproducen la forma de la solera del horno en la que se han formado (Fig. 6.3);
- escorias amorfas, en algunos casos de textura esponjosa, y más ligeras comparadas con el tipo anteriormente descrito (Fig. 6.4);



Fig. 6.3. Escoria de reducción del tipo denominado “de horno”, procedente de La Fonteta.



Fig. 6.4. Escoria amorfa de reducción, procedente de La Fonteta.

- y las escorias de sangrado, de textura densa, en cuya superficie se aprecian los típicos “cordones” de colada y que forman tortas aplanadas (Fig. 6.5), a veces de grandes dimensiones (Fluzin 1999). Estas últimas no están claramente documentadas en la Península Ibérica hasta época romana.



Fig. 6.5. Fragmento de escoria de sangrado procedente de Astigarribia (Mutriku, Guipúzcoa). Siglos X-XI d.C.

Las escorias de afino son los materiales que se desprenden de la esponja de hierro bruto, la lupia, durante las operaciones de depuración. Su morfología y tamaño varían en función de la calidad y de la dimensión de la lupia que se refina, pero se trata en general de materiales muy heterogéneos y, a menudo, ricos en hierro metálico.

La lupia se calienta a elevada temperatura (a la temperatura del rojo blanco) para que la escoria atrapada y otros minerales presentes en la masa se fundan y puedan expulsarse fácilmente mediante cinglado. La mayor parte de estas escorias se forma en el fondo de la fragua por el chorreo de las lupias adquiriendo, en las instalaciones importantes de época romana, la forma de grandes tortas ferruginosas (Fig. 6.6). También se pueden formar escorias de pequeño tamaño, a veces chorretones negruzcos, que son el material que escupe la lupia durante el cinglado. Su posición primaria es la zona en torno al yunque.

Las escorias de forja son el material resultante de las operaciones de manufactura de una pieza de hierro –lingotes u objetos– a partir de una masa metálica más o menos “limpia” obtenida en el proceso anterior. La elaboración de la pieza se lleva a cabo mediante el uso de una fragua para calentar y ablandar el metal, un yunque y martillo.



Fig. 6.6. Gran torta de escoria de afino del yacimiento romano republicano de Los Callejones (Almería), de más de 30x35 cm de tamaño. Foto S. Rovira Llorens.

Estas escorias están compuestas principalmente por los restos de hierro que puedan desprenderse en el proceso de calentamiento y martilleo, y por las eventuales impurezas que no hayan sido expulsadas durante el proceso de purificación de la lupia. Las que se forman en el fondo de la fragua son de tamaño variable, con superficies oxidadas y forma de tendencia plano-convexa. En algunas ocasiones, pueden presentar también escamas férricas adheridas a su superficie o englobadas en la matriz (Fig. 6.7).



Fig. 6.7. “Calota” de fragua procedente de La Fonteta; se aprecian algunas laminillas de forja englobadas en su superficie.

Los microresiduos de forja corresponden a unas laminillas (escamas) y glóbulos de aspecto férrico (Fig. 6.8), constituidos principalmente por los óxidos de hierro que se desprenden por el martilleo de la superficie del metal durante la elaboración de una pieza; en algunos casos, cuando el metal reacciona con elementos ricos en sílice, pueden estar compuestos también por silicatos de hierro. Suelen ser altamente magnéticos y se localizan preferentemente en torno al yunque (Dungworth y Wilkes 2009; Rovira Llorens y Renzi 2010).



Fig. 6.8. Escamas y glóbulos de forja recogidos en La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante). Siglos VIII-VII a.C.

6.2 LA METALURGIA DEL HIERRO DE LA FONTETA

En La Fonteta se han encontrado numerosas evidencias de la producción de hierro, incluyendo fragmentos de mineral, escorias y microresiduos de forja (laminillas y glóbulos).

De estos materiales se ha efectuado una selección para su estudio analítico y los resultados obtenidos se presentan en fichas individuales en el Anexo a esta Tesis.

6.2.1 Los minerales

La Fonteta ha proporcionado varios fragmentos de mineral de hierro, en particular ocre y unos pocos minerales férricos de baja ley.

En general, los nódulos de ocre han sido encontrados en pequeñas acumulaciones dentro de un mismo estrato y suelen presentar escaso tamaño, midiendo unos 2x1 cm aproximadamente. Se han documentado ocres de distinto tipo: principalmente ocres rojos (oligisto terroso; Fig. 6.9a) y ocres amarillos (hematites parda o limonita; Fig. 6.9b) y, en ambos casos, se trata de minerales de textura terrosa y friable que están compuestos por óxidos férricos hidratados mezclados con arcilla (almagre).

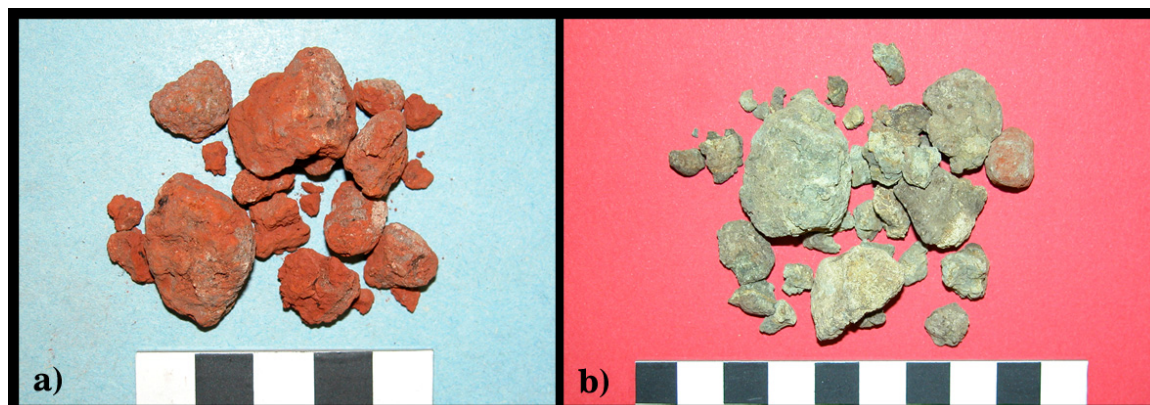


Fig. 6.9. Nódulos de ocre procedentes de La Fonteta: a) ocre rojo u oligisto terroso; b) ocre amarillo o limonita.

Se han encontrado también dos fragmentos de ocre rojo de textura muy compacta, probablemente un tipo de hematites (Fe_2O_3), que presentan mayor pureza con respecto a los nódulos anteriormente descritos. Uno de ellos (F12762) tiene dos lados claramente cortados y la superficie pulida (Fig. 6.10a), mientras que en el otro (F11077) las superficies son regulares pero no se aprecian huellas de haber sido cortado (Fig. 6.10b); este último presenta un ligero ferromagnetismo probablemente debido a la acción del fuego, de hecho la hematites, si se calienta en la zona reductora de la llama, puede volverse fuertemente magnética.

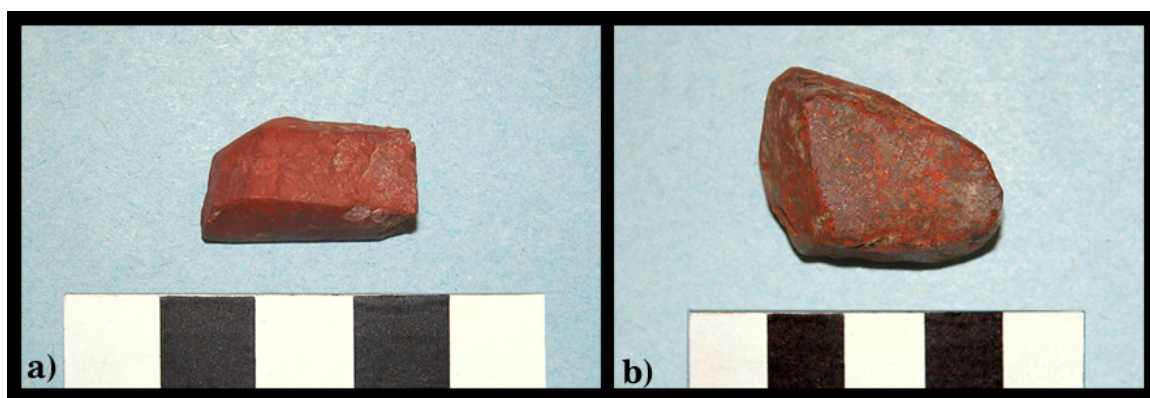


Fig. 6.10. Fragmentos de ocre compacta procedentes de La Fonteta: a) F12762; b) F11077.

La mayoría de los nódulos de ocre proceden de las viviendas situadas al interior de la muralla, con una mayor concentración en los Cortes 5 y 8. Unos pocos ejemplares se han recogido también en los cortes externos al recinto amurallado (Cortes 14 y 25) y en los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1. La mayoría de ellos se fechan dentro de la fase arcaica de La Fonteta (fases I-II), y sólo algunos nódulos proceden de los depósitos de relleno excavados en varios cortes y, tratándose de un paquete formado por estratos muy revueltos, no han podido ser asignados a ninguna fase cronológica en concreto, habiéndose clasificado genéricamente como pertenecientes a las fases IV-VI (Tabla 6.1).

Nº invent.	Corte	Estrato	Fase
F62028	54-1	B1b	II
F62050	54-1N	B4	I
F62012	14N	B9c	III
F11153	25N	A1	VI
F31154	5A/N	B11c	II
F31230	5B	B11c	III
F31041	5N	B9bcd	II
F31117	5N	A3	VI
F31167	5N	B10ab	II
F31198	5N	B8f/9a	II
F11122	8B	A3b	VI
F11077	8B/C	A3	VI
F12762	8B/C	A3	VI
F31155	8B/C	A4b	IV

Tabla 6.1. Listado de las pequeñas acumulaciones de nódulos de ocre ordenadas por corte de procedencia.

No hay evidencia de que estos minerales fueran utilizados para producir hierro, siendo probable que se emplearan como pigmentos. Decoraciones probablemente realizadas con ocre, tanto del tipo rojo como del amarillo, aparecen por ejemplo en la mayoría de los fragmentos de huevos de avestruz encontrados en el yacimiento.

El otro tipo de mineral de hierro documentado corresponde a porciones de piedra arenisca alternadas con finas bandas y costras de óxido de hierro (Fig. 6.11) y, en los casos documentados, parece tratarse de un mineral de baja ley. Es probable que se trate de material de descarte y que los nódulos de mayor pureza fueran empleados para producir hierro.

Se han recogido una quincena de ejemplares procedentes de los Cortes 5, 14 y 54-1, todos atribuibles a las fases I-III del poblado (Tabla 6.2).



Fig. 6.11. Mineral de hierro de baja ley procedente de La Fonteta.

Nº invent.	Corte	Estrato	Fase
F50309	54-1W	B2	II
F62020	54-1N	B2a	II
F55028	54N-1	B13 grava playa	I
F41775	54N-1	B8	II
F41828	54N-1	B8	II
F41854	54N-1	B8	II
F41780	54S-1	A5b grava	I
F11147	14N/W	B10	II
F11049	14N/W	B9a	III
F11048	14N/W	B9c	III
F11118	14N/E	B9b	III
F11158	14C	B9c	III
F31248	5A	B10	III
F31190	5B ext	A4c2	IV
F31124	5N	B11c	II
F31034	5N	B8bc	II

Tabla 6.2. Listado de los fragmentos de mineral de hierro ordenados por corte de procedencia.

6.2.2 Las escorias

Entre las escorias de hierro encontradas en el yacimiento, se han seleccionado 26 ejemplares para su estudio analítico por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX). La gran mayoría de ellas ha sido recogida en los estratos de vertidos metalúrgicos del Corte 54-1 y pertenecen a las fases I-II de La Fonteta (fase arcaica). Sólo dos escorias proceden del Corte 14 y han sido atribuidas a las fases II-III. Por tanto, se observa una intensa actividad metalúrgica en la fase arcaica del yacimiento,

con una especial concentración de materiales escoriáceos, como es de esperar, en los estratos que forman los vertederos metalúrgicos (Tabla 6.3).

Nº invent.	Corte	Estrato	Fase
F11117	14N/E	B9b	III
F11159	14C/W	B8/9	II
F41524	54N	B1	II
F41533-1	54N	B1	II
F41533-2	54N	B1	II
F41534-1	54N	B8	II
F41534-2	54N	B9	II
F41534-3	54N	B9	II
F41536-1	54S/W	B10	II
F41536-3	54S/W	B7	II
F41539-2	54N	B3c	II
F41625	54S	B2	II
F41698-2	54N	B8	II
F41708-2	54S	B3bc	II
F41711-1	54S/W	B5f	I
F41711-2	54S/W	B5f	I
F41716-2	54S/W	B6 arena	I
F41726-1	54N	B11	II
F41726-2	54N	B11	II
F41732-3	54N	B5f	I
F41732-4	54N	B5f	I
F41738-1	54N	B1	II
F41762-3	54	B8	II
F41780	54S	A5b grava	I
F55004-1	54-1W	B9	II
F55004-2	54-1W	B5d	I

Tabla 6.3. Listado de las escorias de hierro seleccionadas para su estudio, ordenadas por corte de procedencia.

La morfología y el tamaño de las escorias de hierro encontradas en La Fonteta son muy variados. Se han documentado escorias de forma plano-convexa, de forma aplanada, escorias nodulares y amorfas. La mayoría de ellas corresponden a los tipos plano-convexo y aplanado, que también son las que presentan mayor tamaño.

La escoria de forma plano-convexa de mayores dimensiones mide 15,5x12,5 cm de tamaño y presenta un grosor de más de 4 cm, mientras que el ejemplar más pequeño mide unos 5x4 cm con 2,5 cm de grosor máximo (F41524; Fig. 6.3). De las escorias de forma aplanada, el ejemplar completo de mayor tamaño mide 12,5x8 cm con 2 cm de grosor, y el más pequeño presenta 5x6 cm de tamaño y un grosor de 1 cm (Fig. 6.12).



Fig. 6.12. Escoria de hierro de tipo aplanado (F41534-1) procedente de La Fonteta.

Por otro lado, los ejemplares amorfos y los de forma nodular o elipsoidal suelen encontrarse fragmentados y presentan dimensiones muy variables; sólo en un caso se ha documentado un ejemplar completo y mide 10x6,5 cm con 4 cm aproximadamente de grosor (Fig. 6.13).



Fig. 6.13. Escoria de hierro de tipo elipsoidal (F55004-1) procedente de La Fonteta.

En casi todas las escorias analizadas la cara superior suele ser irregular con incrustaciones terrosas, huellas de materia vegetal y zonas de oxidaciones más o menos extensas; la cara inferior suele estar recubierta por una capa de material arcilloso y

también puede presentar manchas ferruginosas. Gran parte de estas escorias presenta ferromagnetismo.

El material en fractura es el que se diferencia mayormente de una muestra a otra. De acuerdo con sus distintas características, se han identificado tres tipos principales: dos de ellos son los que han sido mayormente documentados en las escorias analizadas. El primer tipo al corte presenta un material de color gris oscuro, con matices que van del verdoso al marrón, en el que generalmente se observa la presencia de pequeñas motas blancas; la textura suele ser densa y compacta (Fig. 6.14).



Fig. 6.14. Macrografía de una sección del tipo 1 de una escoria de hierro procedente de La Fonteta.

El segundo tipo identificado, que predomina entre las escorias analizadas, tiene una fractura de color grisáceo-marrón con oxidaciones internas y a menudo también con motas blancas; su textura es habitualmente porosa, con distintos grados de porosidad según la muestra (Fig. 6.15).

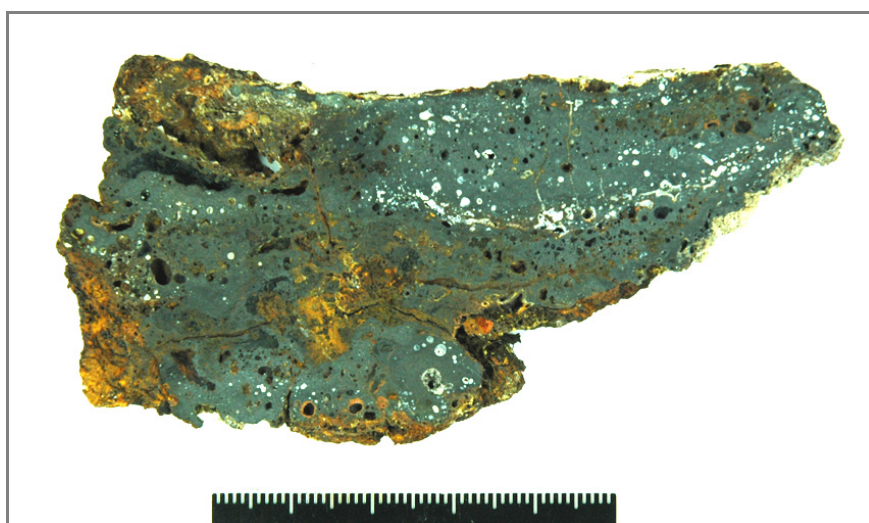


Fig. 6.15. Macrografía de una sección del tipo 2 de una escoria de hierro procedente de La Fonteta.

El tercer tipo es el menos representado; corresponde a un material de textura homogénea, en general bastante compacto, y suele presentar un color gris-negruzco uniforme (Fig. 6.16).

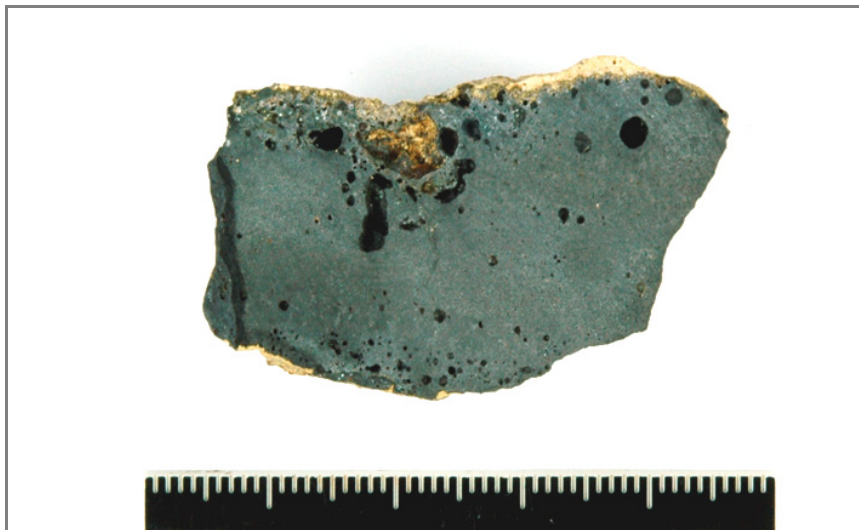


Fig. 6.16. Macrografía de una sección del tipo 3 de una escoria de hierro procedente de La Fonteta.

Mediante un atento examen macroscópico de las escorias seleccionadas, se ha podido realizar una clasificación previa del material en distintos tipos, pero no ha permitido encontrar una correspondencia directa entre su morfometría (forma, características del material en fractura, ferromagnetismo, etc.) y su atribución a una determinada fase del proceso paleo-siderúrgico. Esta falta de relación directa entre los distintos aspectos de las muestras y su proceso de formación nos confirma cuanto ya se ha mencionado en la introducción a este capítulo, es decir que la clasificación e interpretación de los subproductos de la metalurgia del hierro resultan complejas y a veces confusas debido a su variedad y heterogeneidad.

Sólo el estudio de estas escorias por microscopía electrónica de barrido nos ha permitido extrapolar datos importantes para su posible atribución a una fase concreta de la cadena operativa para la producción de hierro.

6.2.2a) Las escorias de reducción

Se ha podido identificar un amplio grupo de escorias que, por sus características microestructurales y de composición, corresponden con cierta seguridad a escorias de reducción. Se trata de 11 escorias que presentan morfología, tamaño y características físicas muy variadas.

Desde el punto de vista analítico su microestructura suele ser poco homogénea o del todo heterogénea y, a menudo, se observan amplias zonas constituidas enteramente por óxidos de hierro, tanto en forma de cristales como en bandas continuas. En la mayoría de los casos estudiados, la matriz corresponde a un silicato complejo de calcio y hierro del tipo de la kirschsteinita o de la hedenbergita, o a un material formado básicamente por calcio y silicio con algo de hierro, cuya composición se aproxima a la de una ferrowollastonita. También se han analizado algunas muestras que presentan una matriz constituida por un material piroxénico en el que se han detectado cristales de un material rico en sílice, aluminio y calcio en distintas proporciones, como por ejemplo la melilita o compuestos de tipo feldespatico, en general la anortita.

El aporte de calcio al sistema procede principalmente de las cenizas del combustible pero, considerando el contenido elevado de este elemento en las escorias férricas de La Fonteta –cuyos valores pueden variar entre 35% y 50% CaO– parte de éste podría proceder también del entorno, al igual que la sílice. De hecho, ya se ha mencionado en otras ocasiones que el suelo de la zona está compuesto principalmente por arena y roca caliza y, considerando que probablemente se utilizaron estructuras de combustión de tipo sencillo excavadas directamente en el suelo, estos elementos podrían haberse incorporado fácilmente a la escoria. Asimismo, como se verá más adelante, el contenido especialmente alto de calcio detectado en algunas muestras podría deberse al uso de minerales con ganga calcárea o mixta de tipo silíceo-calcáreo.

En general, en la microestructura de estas escorias se observa escaso material de relleno cuya composición, dependiendo de la muestra, puede corresponder a un vidrio o a un material de tipo piroxénico. El óxido de hierro se encuentra principalmente en forma globular y, sólo en ocasiones, también formando dendritas; en pocos casos se aprecian formaciones de cristales de magnetita.

Las muestras en las que se ha observado óxido de hierro dendrítico nos indican que se han alcanzado localmente temperaturas suficientemente elevadas, del orden de 1300°C, para que éste fundiera y solidificara en forma de dendritas. Además, en los casos en que las dendritas presentan largo desarrollo, se puede suponer que estas temperaturas se mantuvieron durante un tiempo prolongado y que luego se produjo un enfriamiento lento, condiciones compatibles con una escoria formada en el fondo de la cubeta de una estructura de combustión.

Asimismo, gran parte de los fragmentos de escoria analizados presenta amplias bandas más o menos continuas de óxido de hierro (Fig. 6.17) que se han interpretado como posibles relictos de mineral que no habrían llegado a reaccionar del todo.

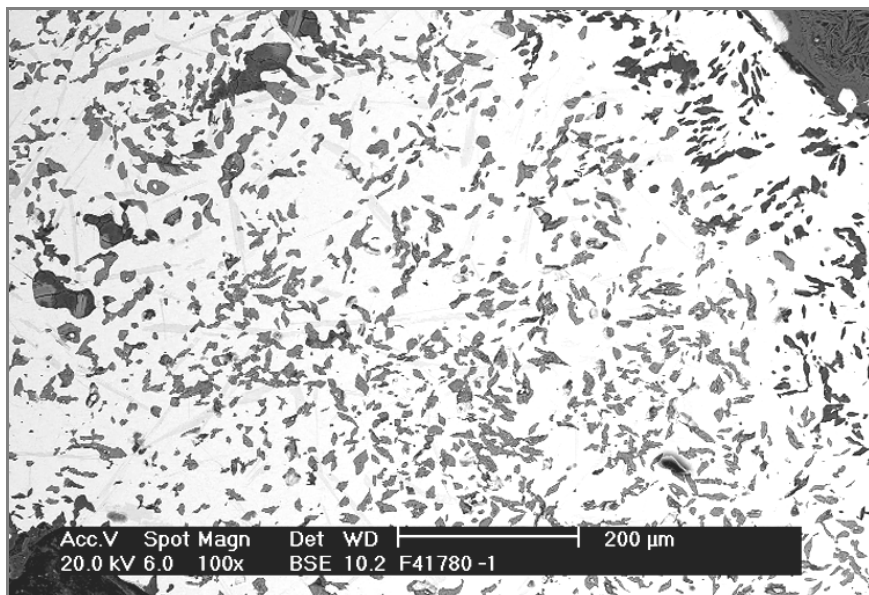


Fig. 6.17. Banda continua de óxido de hierro en una de las muestras estudiadas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En algunas muestras se puede observar también el proceso de reacción de este óxido formando wustita o magnetita (Fig. 6.18); igualmente, se observan islotes de óxidos de hierro que corresponden a fenómenos de corrosión secundaria del metal.

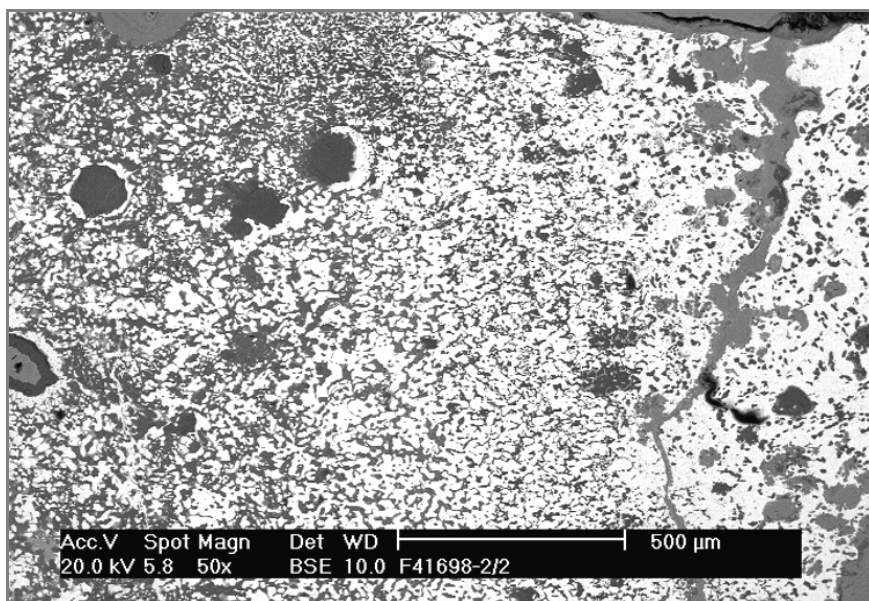


Fig. 6.18. Fenómenos de disolución de las bandas de óxido de hierro en una de las muestras estudiadas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En los casos es los que se han podido identificar formaciones de magnetita, ésta se encuentra en forma de cristales tabulares y globulares, y sólo en una muestra (F41711-2) llega a formar estructuras en cruz y dendritas (Fig. 6.19). La presencia de magnetita en estas muestras, que en todos los casos estudiados coexiste con la wustita y suele estar concentrada sólo en determinadas zonas, nos indica que en la estructura pirometalúrgica hubo cierta inestabilidad de las condiciones redox de trabajo, con episodios reductores alternados con otros más oxidantes. Es posible que se formara magnetita en la zona más cercana a la salida de aire de la tobera donde el flujo de oxígeno es mayor y más intenso. De hecho, en una estructura de combustión como las de la época que, como se ha visto, generalmente eran de tipo sencillo con cubiertas probablemente de un solo uso y, en algunos casos, quizás también de tipo abierto, una fuerte intensidad del chorro de aire era necesaria para poder mantener el carbón incandescente y alcanzar temperaturas elevadas.

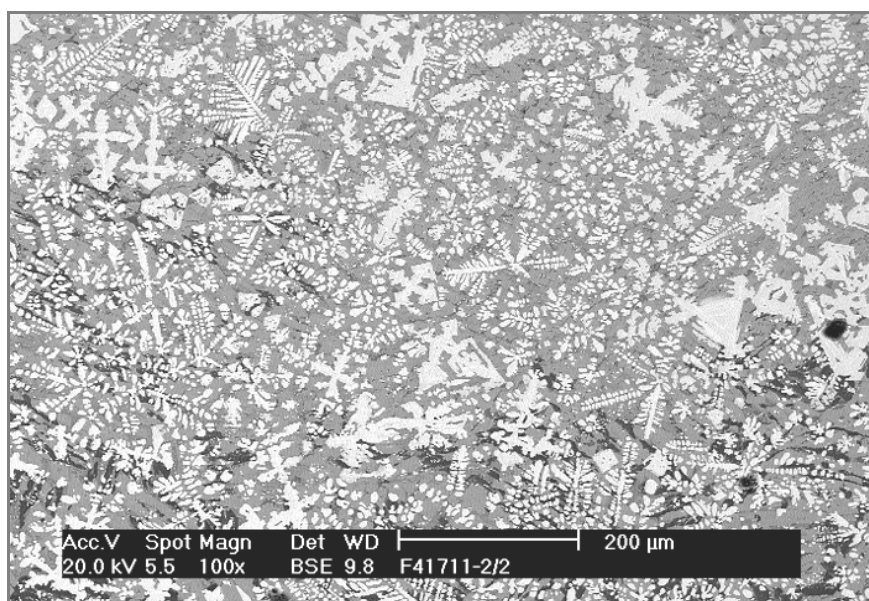


Fig. 6.19. Microestructura de la escoria F41711-2 en la que se observa una abundante presencia de cristales de magnetita. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En varias de las escorias analizadas se aprecia la presencia de granos de sílice y de calcita parcialmente disueltos o todavía sin reaccionar que, en ciertos casos, podrían corresponder al relleno de vacuolas de la escoria por contaminación del medio. Sin embargo, como ya se ha mencionado antes, es posible también que se estuvieran utilizando minerales con una ganga calcárea, como parece sugerir la identificación en la muestra F41536-1 de granos de calcita con segregados de sulfuro de plomo en su

interior o, en otra muestra (F41534-3), la presencia de estructuras aciculares de óxido de hierro englobadas en la calcita (Fig. 6.20).

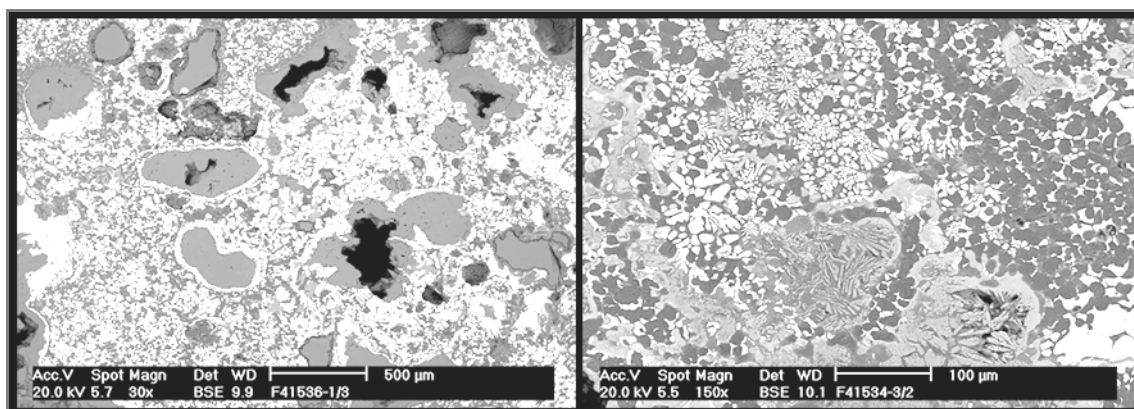


Fig. 6.20. Zonas de la muestra F41711-2 (a la izquierda) en la que se observa la abundante presencia de granos de calcita, y de la muestra F41534-3 (a la derecha) en la que se aprecian pequeñas regiones con formaciones aciculares de óxido de hierro. Imágenes SEM, electrones retrodispersados.

En varios casos se han detectado inclusiones de baritina, un sulfato que se suele encontrar envolviendo las vetas de minerales metálicos y que constituye un elemento común de las gangas filonianas junto con la calcita y el cuarzo; por tanto, su presencia en la escoria se puede interpretar como un resto de las impurezas del mineral original. En alguna muestra la baritina se encuentra englobada en granos de calcita o, como en el caso de la muestra F41536-1, está dentro de un grano de enstatita que, a su vez, presenta segregados de calcita. También en la muestra F11117 se ha detectado un grano de dimensiones significativas de enstatita (Fig. 6.21) en la que, de nuevo, se observan segregados de calcita.

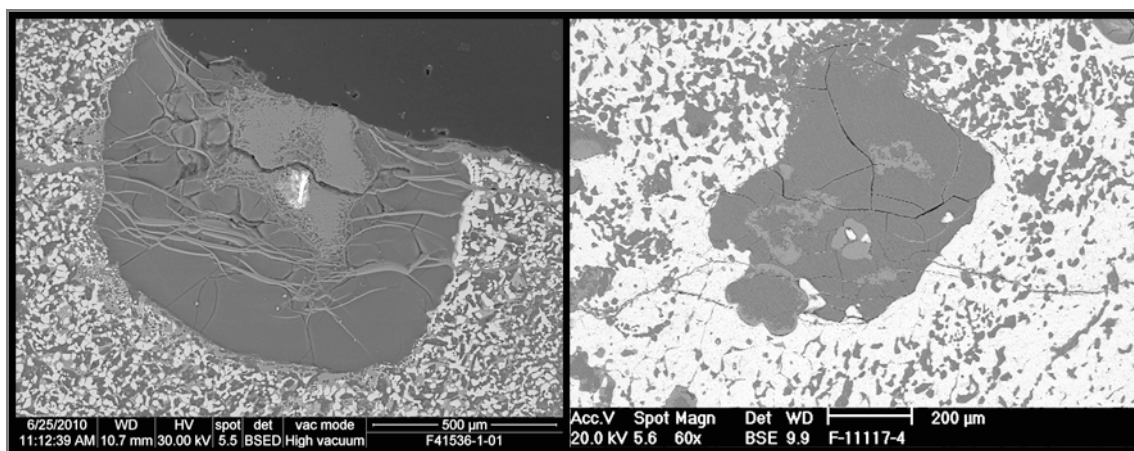


Fig. 6.21. Granos de enstatita con zonas de calcita y, en el caso de la muestra F41536-1 (a la izquierda), con una inclusión de baritina, pero en la muestra F41534-3 (a la derecha) con segregados de óxido de hierro. Imágenes SEM, electrones retrodispersados.

La enstatita constituiría pues otro posible resto de la ganga del mineral original.

Casi todas las muestras estudiadas presentan abundantes inclusiones metálicas, mayormente de forma globular, englobadas en la matriz de las escorias, en zonas en las que predomina el óxido de hierro, y frecuentemente donde éste forma bandas continuas. Las composiciones de estas inclusiones pueden ser muy variadas y distintas entre ellas; sólo en pocos casos se trata de hierro puro, presentando en general contenidos variables de arsénico, cobre y níquel (Fig. 6.22).

De hecho, en seis de las muestras analizadas predominan las perlas de “speiss ferroso”, es decir arseniuros de hierro acompañados por cantidades diferentes de cobre y níquel (Tabla 6.4).

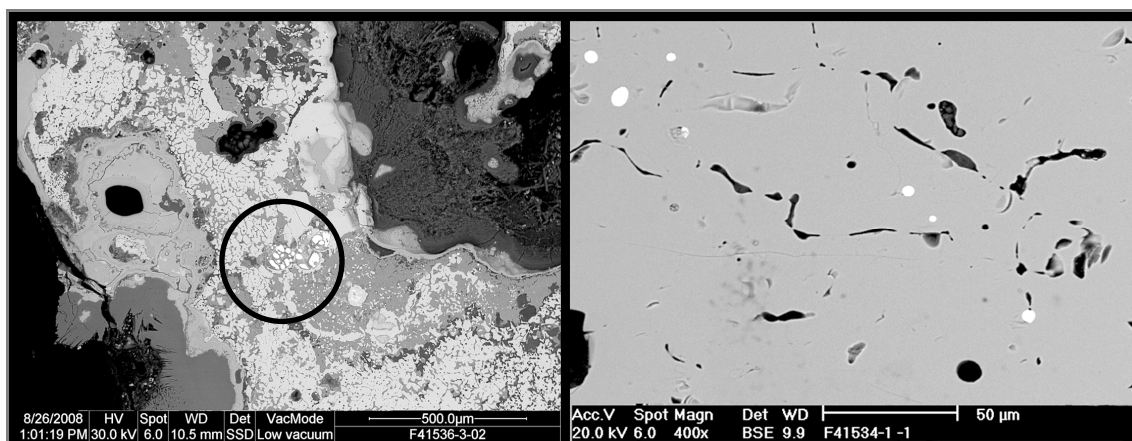


Fig. 6.22. Inclusiones metálicas englobadas en la matriz de dos de las escorias analizadas. Imágenes SEM, electrones retrodispersados.

Análisis	S	Fe	Co	Ni	Cu	As	Sb
F41524/1	2,31	35,29	nd	0,58	21,34	40,48	nd
F41524/2	3,13	68,15	nd	nd	3,13	25,59	nd
F41533-1/1	0,4	43,88	1,42	5,36	34,18	14,76	nd
F41533-1/2	0,41	60,94	2,03	9,56	3,56	23,50	nd
F41534-1/1	nd	51,06	nd	2,18	9,85	36,92	nd
F41534-1/2	nd	45,48	nd	1,94	21,59	29,69	1,3
F41536-3/1	nd	32,56	nd	3,07	27,49	36,88	nd
F41536-3/2	nd	33,29	nd	3,72	26,36	36,63	nd
F41536-3/3	nd	37,17	nd	12,62	13,41	36,82	nd
F41711-2/1	0,8	62,64	nd	0,82	2,3	33,43	nd
F41711-2/2	0,75	65,84	nd	1,0	3,38	29,02	nd

Tabla 6.4 Resultados SEM-EDX (expresados como elementos, % en peso) de la composición de algunas de las inclusiones metálicas identificadas en las escorias de reducción de La Fonteta (nd: no detectado).

En otras escorias se han detectado inclusiones de sulfuro de plomo y/o inclusiones metálicas de plomo con hierro; en la muestra F41536-1 se ha detectado también una inclusión de oro. El resto de las fases metálicas suelen ser de hierro con algo de cobre y, en algunas ocasiones, con algo de estaño. A este propósito destaca la muestra F41711-1 que presenta una microestructura con las fases minerales comúnmente observadas en estas escorias férricas –con una matriz correspondiente a un silicato del tipo de la kirschsteinita y abundante óxido de hierro en forma de wustita– pero presenta varias inclusiones de cobre prácticamente puro, algunas de cobre-hierro y una inclusión globular de grandes dimensiones de cobre-estaño, con un contenido de estaño de alrededor del 4,5% Sn (Fig. 6.23).

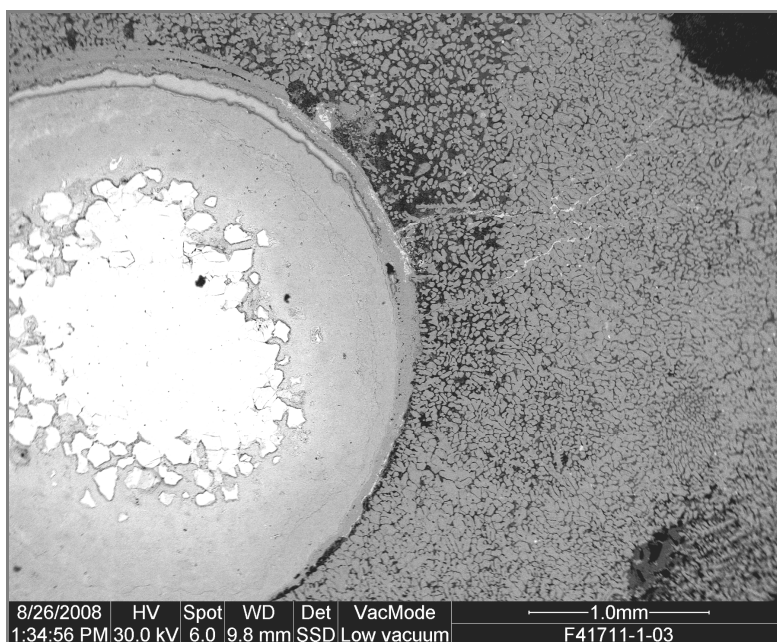


Fig. 6.23. Muestra F41711-1. Inclusión de cobre con estaño. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

El elevado contenido de cobre metálico en la escoria nos ha planteado la posibilidad de que no se tratara de un residuo de la producción de hierro sino que podría tratarse de un subproducto de la metalurgia de base cobre. Sin embargo, la microestructura de la muestra y la ausencia de cobre en las fases minerales de la escoria, junto con la presencia de algo de níquel, arsénico y plomo en las inclusiones metálicas –elementos que hemos detectado en muchas de las escorias de hierro estudiadas– parece sugerir su vinculación al mismo tipo de metalurgia, es decir a procesos de obtención primaria de hierro. Sin embargo, no se puede excluir que se trate de una escoria de afino de una masa metálica en bruto que contenía apreciables tasas de otros elementos.

Con respecto al tipo de mineral empleado para los procesos metalúrgicos en los que se han formado estas escorias, la composición de las inclusiones metálicas analizadas sugiere que se estaban explotando minerales complejos de hierro, probablemente de tipo mixto óxidos-sulfuros y particularmente ricos en arsénico, cobre y níquel. La ganga de estos minerales parece ser de naturaleza calcárea, con impurezas de enstatita, baritina y en algunos casos con sulfuros de plomo que frecuentemente se encuentran asociados a la baritina.

En todos los casos en que la microestructura de la muestra lo ha permitido, se han efectuado análisis globales de la composición de las escorias abriendo ventanas de tamaño significativo (generalmente a 100x) en zonas representativas de la muestra; los resultados se muestran en la Tabla 6.5.

Muestra	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	FeO
F11117	11,25	3,31	16,9	1,75	nd	2,57	65,1
F41524	0,82	4,27	14,26	nd	1,87	12,54	66,25
F41533-1	2,0	3,16	17,99	nd	nd	12,46	64,38
F41534-1	2,51	3,28	11,28	nd	0,88	7,57	74,48
F41534-3	2,30	5,22	18,94	1,12	0,59	4,95	67,08
F41536-1	4,88	6,86	35,28	1,05	0,62	5,91	45,4
F41698-2	9,47	4,48	nd	nd	0,67	2,43	58,77
F41711-1	1,81	2,18	8,64	nd	0,61	4,54	82,98
F41711-2	2,51	4,27	23,73	nd	1,46	17,08	50,95
F41780	2,22	2,46	10,07	nd	0,44	12,66	72,15

Tabla 6.5. Resultados SEM-EDX (expresados como óxidos, % en peso) de los análisis globales de algunas escorias de reducción de La Fonteta (nd: no detectado).

Se trata de materiales escoriáceos en los que se ha perdido una cantidad abundante de hierro en forma de óxido, con porcentajes que varían entre 45% y 80% FeO. Estos valores se explican fácilmente si consideramos que en casi todas las muestras se observa la presencia de amplias zonas de óxido y que la matriz de estas escorias también presenta cierta riqueza en hierro. Además, hay una general escasez de sílice en el sistema, con cantidades normalmente comprendidas entre 2% y 23% SiO₂.

Los resultados de los análisis globales se han representado en un diagrama ternario de equilibrio de fases SiO₂-CaO-FeO, con el fin de observar en qué región térmica se encontrarían estas escorias y determinar así las temperaturas teóricas de trabajo alcanzadas durante los procesos pirometalúrgicos en los que se formaron (Fig. 6.24).

Como era de esperar, de acuerdo con el alto contenido en óxido de hierro presente en las muestras, se observa que la mayoría de ellas se sitúan cerca o dentro de la región

de la wustita, en un rango de temperaturas iguales y en algunos casos superiores a 1.250-1.300°C. Otro grupo, formado por dos escorias, se sitúa en la zona de transición entre la región del olivino (o fayalita) –pero fuera de ella por defecto de sílice– y la región de la wustita, entre las isoterma de 1.150° y 1.250°C. Sólo una muestra, F51536-1, presenta valores composicionales que la sitúan en una zona entre la región de la wollastonita y la del olivino (1.100-1.200°C). Estas temperaturas teóricas de trabajo, que en la mayoría de los casos están alrededor de 1.300°C, son coherentes con lo que sugiere la formación de wustita y magnetita en forma de dendritas.

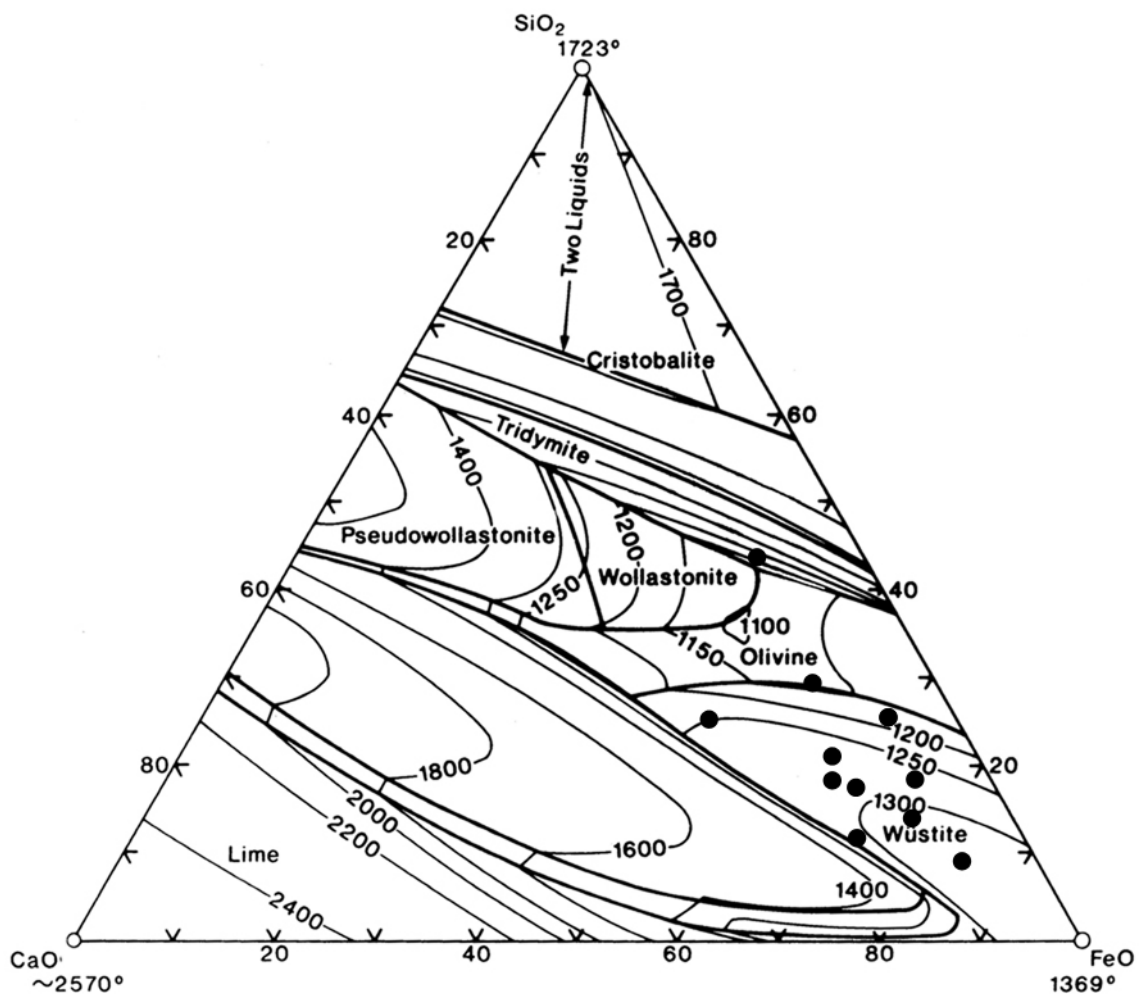


Fig. 6.24. Diagrama ternario de equilibrio de fases SiO₂-CaO-FeO en el que se representan los puntos correspondientes a los análisis globales realizados mediante SEM-EDX de las escorias de reducción de La Fonteta.

El exceso de óxido de hierro y la escasez de sílice en el sistema nos están indicando la dificultad para obtener una escoria fluida; dichos materiales se forman en estado semisólido y su elevada viscosidad impide una buena separación del metal de la escoria.

En resumen, las características microestructurales y composicionales de estas 11 escorias parecen indicar que se trata de materiales resultantes de procesos de obtención de hierro por reducción de sus minerales. La presencia de posibles relictos de mineral, de baritina y de inclusiones metálicas de composición variada y compleja, con cantidades elevadas de elementos volátiles a elevadas temperaturas (principalmente arsénico y antimonio), nos ha proporcionado argumentos válidos para interpretarlas como residuos de operaciones de metalurgia primaria de hierro; de hecho, si se tratara de subproductos de procesos de post-reducción, gran parte de estos elementos habría desaparecido perdiéndose principalmente en los humos.

Las escorias analizadas se han formado durante operaciones para el procesamiento de minerales mixtos de hierro ricos en arsénico y cobre, con contenidos variables también de otros metales. Sin embargo, su escasez en sílice sugiere unos conocimientos muy elementales del metalúrgico sobre cómo obtener una buena escoria de bajo punto de fusión; no se añadieron fundentes a la carga del horno para poder facilitar el proceso de escorificación y la naturaleza principalmente calcárea de la ganga del mineral original tampoco favoreció la formación de una escoria fayalítica. Parece pues que en la mayoría de los casos estudiados el proceso de reducción no había resultado del todo eficiente, habiéndose producido una elevada pérdida de hierro en la escoria.

6.2.2b) Las escorias de post-reducción

De acuerdo con sus características morfológicas y composicionales, el resto de las escorias analizadas ha sido clasificado como subproductos de operaciones de post-reducción de hierro, es decir que se han formado durante el afinado y la forja de las masas metálicas, así como durante la posterior elaboración de piezas.

Se trata de 15 escorias que, basándonos mayormente en su morfología, han sido clasificadas en dos tipos principales: el primero tiene forma de calota y es el más numeroso, mientras que el segundo corresponde a las escorias de forma aplanada.

Las calotas tienen tendencia elíptica o ligeramente triangular, con perfiles plano-convexos; sus superficies son irregulares y suelen estar recubiertas por abundantes oxidaciones ferruginosas (Fig. 6.25). En algunos casos se aprecia la presencia de laminillas férricas –saltadas durante las operaciones de martilleo del metal– englobadas en la cara superior de la escoria. Sus dimensiones pueden variar entre 6 y 8 cm, alcanzando los 10 cm en los ejemplares de mayor tamaño.



Fig. 6.25. Escoria de hierro del tipo en forma de calota, procedente de La Fonteta.

Al tipo aplanado pertenecen sólo dos ejemplares: el primero presenta una forma cuadrangular (con unos 6x7 cm de tamaño) y sus superficies están enteramente recubiertas por óxidos de hierro, mientras que el otro corresponde a un fragmento de pequeño tamaño (de aproximadamente 4 cm), con las superficies de color blanquecino y pequeñas manchas ferruginosas (Fig. 6.26).



Fig. 6.26. Escoria de hierro del tipo aplanado, procedente de La Fonteta.

Desde el punto de vista analítico, estos materiales presentan una microestructura heterogénea, en general con abundante presencia de óxido de hierro. La composición de

sus fases minerales es similar a la de las escorias de metalurgia primaria anteriormente descritas. El aporte de calcio procede principalmente de las cenizas del combustible y del entorno; de hecho, como ya se ha mencionado, el suelo de la zona está compuesto mayoritariamente por arena y roca caliza, así que gran parte de la sílice y del aluminio presente en el sistema dependería de la naturaleza geológica del suelo.

Sin embargo, con respecto a la sílice, es posible también que se utilizara arena para recubrir la superficie del metal durante la forja del hierro, especialmente en las operaciones de soldadura, limitando así su oxidación y permitiendo un más fácil desprendimiento de las superficies oxidadas. A elevadas temperaturas la arena reaccionaría con el óxido de hierro y los otros elementos presentes en el sistema formando un silicato del tipo de la fayalita o, en un medio rico en cal como el de La Fonteta, formando silicatos complejos de hierro y calcio. De hecho, en varios casos, la matriz está compuesta principalmente por cristales tabulares o alargados de un mineral de la serie de la monticellita, del tipo de la kirschsteinita. También se han identificado muestras en las que la matriz no corresponde a una fase cristalina sino a un material fundido rico en óxido de calcio y de hierro. Sólo en algunas muestras se ha detectado la presencia de material intersticial que, en general, es escaso y corresponde a un vidrio o a un material rico en aluminio, de tipo feldespático.

La mayoría del óxido de hierro presente en estas escorias se encuentra disperso en la matriz, principalmente en forma globular y a veces formando dendritas; en algunas escorias se observan también cristales cuadrangulares de magnetita (Fig. 6.27).

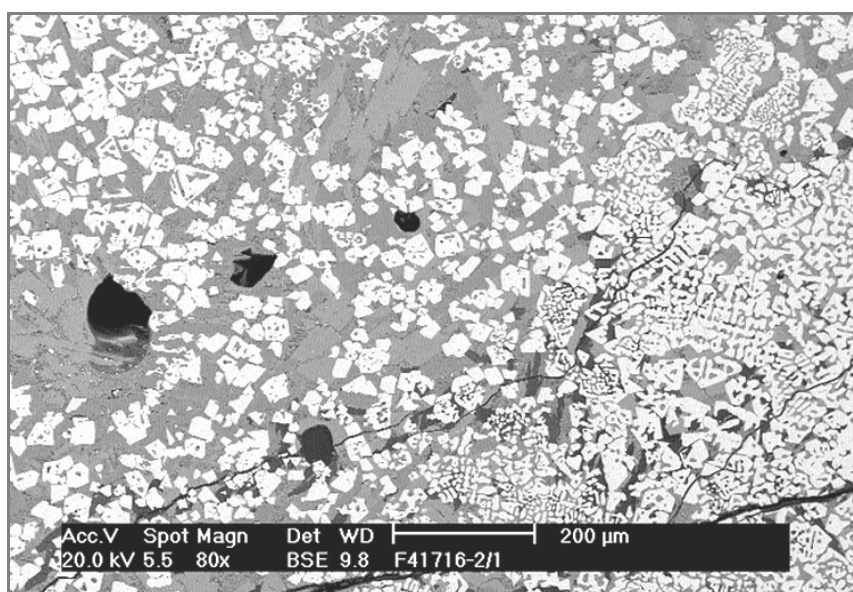


Fig. 6.27. Presencia de cristales de magnetita en una de las escorias analizadas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Las muestras en las que se han observado formaciones dendríticas de óxido de hierro nos indican que se han alcanzado localmente temperaturas del orden de 1.300°C para que el óxido de hierro llegara a solidificar formando estas estructuras; asimismo, la presencia de cristales de magnetita es compatible con el ambiente de trabajo oxidante de las fraguas; su formación es una consecuencia de un exceso de oxígeno que produce la transformación de la wustita (óxido ferroso, FeO) en magnetita (óxido ferroso-férrico, Fe₃O₄).

En algunas muestras se aprecian amplias zonas de óxidos de hierro que corresponden a fenómenos de oxidación secundaria por corrosión, en las que todavía se conservan islotes de hierro metálico residual (Fig. 6.28).

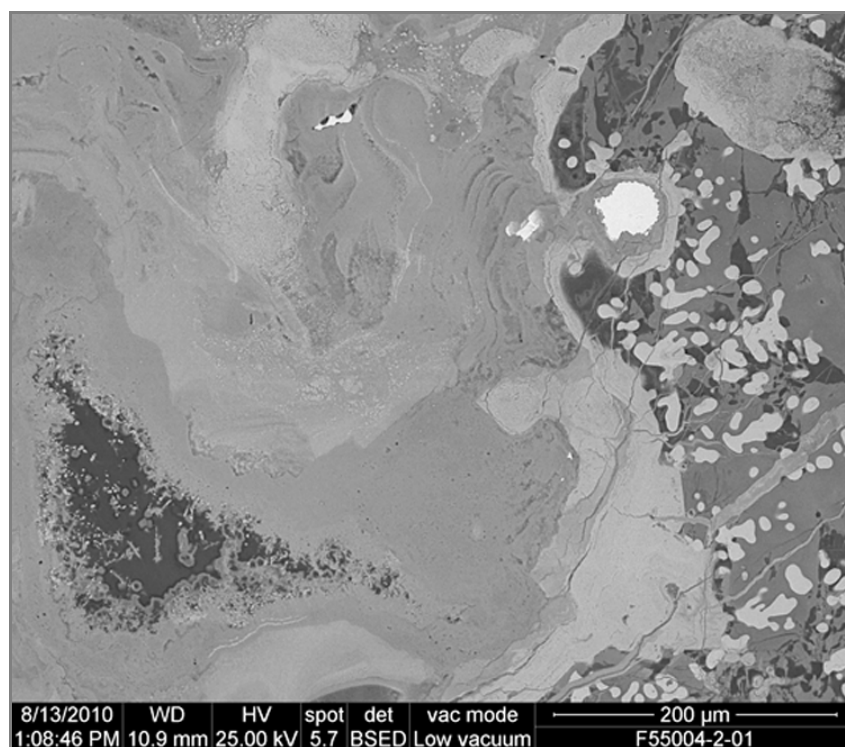


Fig. 6.28. Zona de oxidación secundaria con hierro residual en una de las escorias analizadas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

A veces se observan también finas bandas alargadas de óxido de hierro, generalmente situadas en el borde de las muestras, que corresponden a laminillas férricas saltadas durante las operaciones de martilleo del metal y que se habrían quedado atrapadas en la escoria (Fig. 6.29).

La concentración de amplias zonas re-oxidadas de hierro y de laminillas de forja en las zonas más externas y en el borde de las muestras permite observar cierta estratificación en la formación de la escoria en la fragua (Fig. 6.30).

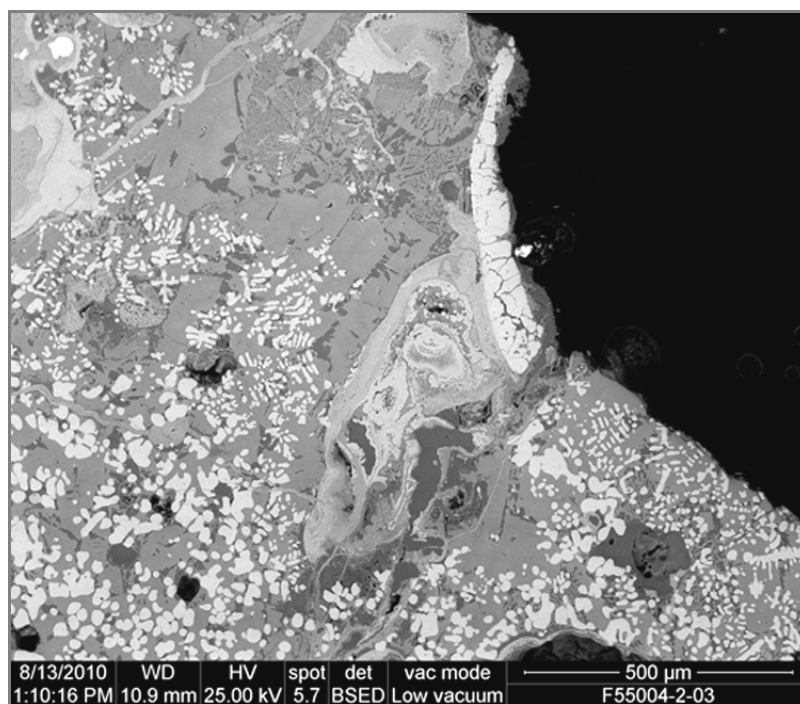


Fig. 6.29. Laminilla de forja englobada en el borde de una de las muestras. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

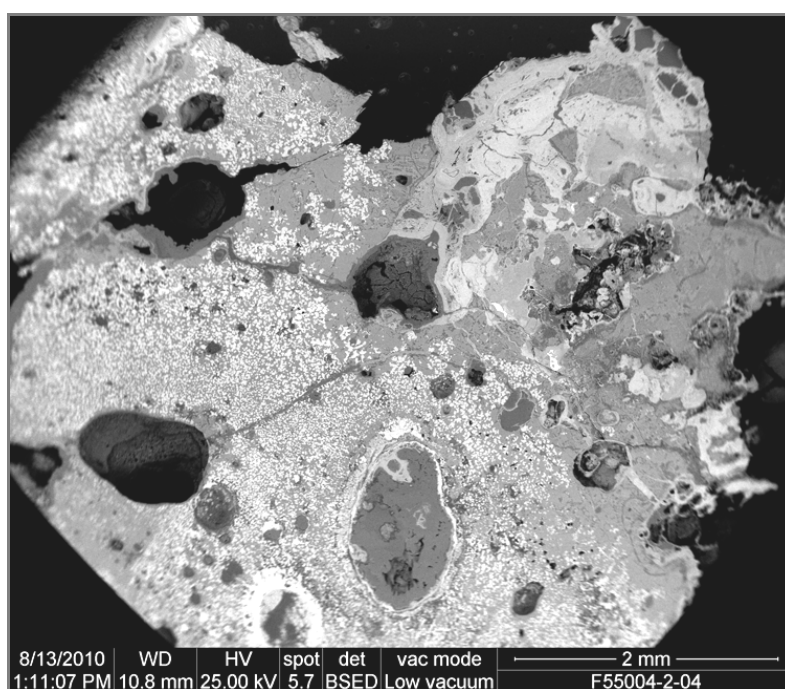


Fig. 6.30. Vista general de una muestra en la que se aprecian zonas de distinta naturaleza. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La primera “capa” corresponde a la fase inicial de la operación de purificación de la lupia en la que se pierde la mayor cantidad de metal, como indica la abundante presencia de oxidaciones secundarias de hierro; en la siguiente se aprecia una distribución más homogénea del óxido de hierro en la escoria para llegar a la capa

inferior en la que disminuye notablemente la cantidad de wustita y se observan restos del suelo y/o de la estructura de combustión.

En 8 de las escorias de post-reducción analizadas se han detectado varias inclusiones metálicas de distinta forma y tamaño. En general, estas inclusiones suelen presentar formas polilobuladas o angulosas y no se encuentran englobadas en la matriz sino más bien situadas encima o dentro de las formaciones de óxido de hierro (Fig. 6.31).

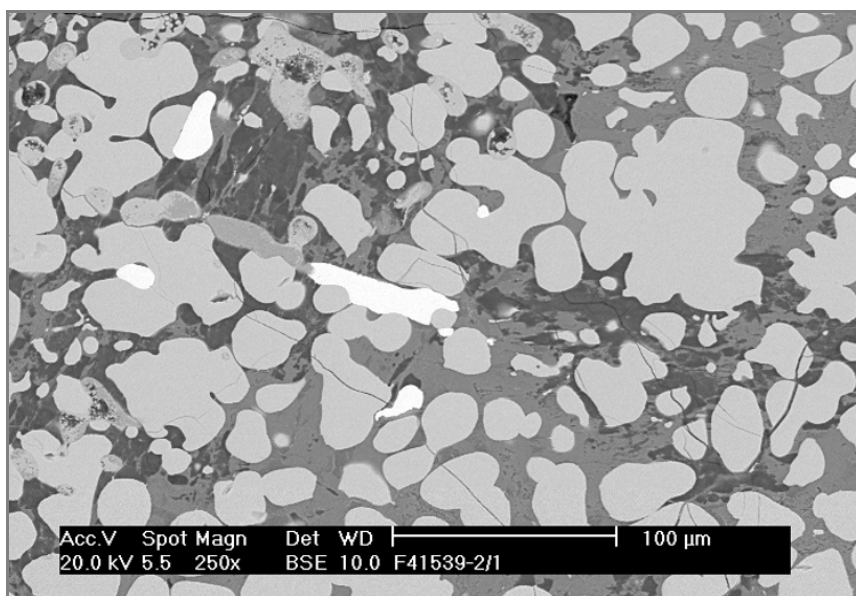


Fig. 6.31. Inclusiones metálicas identificadas en una de las escorias analizadas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La composición de estas fases metálicas es bastante variada y sólo en dos muestras (F41539-2 y F55004-2) se han detectado inclusiones de hierro puro (es decir sin impurezas detectables por SEM-EDX). En el resto de los casos se trata de inclusiones de hierro con contenidos variables de cobre, níquel, arsénico, en un caso también estaño y en otro cobalto. Este polimetallismo de las inclusiones nos permite establecer una relación directa entre las escorias de reducción antes descritas y estos subproductos resultantes de la purificación de las masas metálicas obtenidas que todavía presentarían parte de las impurezas presentes en el mineral original. A este propósito es significativo ver como apenas se detecta la presencia de elementos volátiles en las fases metálicas de estas muestras –no se detecta antimonio y las cantidades de arsénico son significativamente inferiores–, debido probablemente a que gran parte de ellos se han perdido en los humos y en la escoria a lo largo de las distintas fases del proceso

metalúrgico. Constituye una excepción la muestra F41534-2, en la que se han detectado inclusiones metálicas con hasta un 37% de arsénico, acompañado por contenidos de 6-9% de cobre y 3-7% de níquel. Composiciones de este tipo se explicarían mejor en un subproducto de la reducción de minerales pero su forma de calota de tendencia elíptica, con perfil plano-convexo y un lado recto –una morfología que está siempre asociada a las escorias de post-reducción– indica que podría tratarse de una escoria de afino en la que se habrían quedado englobados restos de la operación anterior.

Como para las escorias de reducción, cuando la microestructura de la muestra lo ha permitido, se han efectuado análisis globales de su composición y los resultados se muestran en la Tabla 6.6.

Muestra	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	FeO
F11159	1,06	2,01	2,82	nd	nd	nd	4,09	92,59
F41533-2	8,53	5,36	22,03	0,65	0,42	0,52	7,77	54,90
F41534-2	1,65	5,58	14,8	nd	nd	1,1	10,6	66,3
F41539-2	3,15	3,28	21,99	nd	nd	0,71	8,33	62,53
F41625	1,94	4,15	17,81	nd	nd	1,01	11	64,09
F41708-2	2,95	3,96	22,45	nd	nd	1,11	17,19	52,33
F41716-2	2,5	3,4	22,04	nd	nd	1,68	21,49	48,9
F41726-1	nd	5,91	21,03	nd	nd	1,21	9,85	62,0
F41726-2	2,39	5,49	21,24	nd	nd	1,31	10,82	58,73
F41732-3	2,09	3,87	12,72	nd	nd	0,99	4,09	76,23
F41732-4	1,55	3,72	14,95	nd	nd	0,82	10,05	68,91
F41738-1	2,82	3,03	11,57	nd	nd	0,38	5,25	76,95
F41762-3	3,83	7,11	27,99	nd	nd	1,43	19,13	40,52
F55004-1	2,73	6,14	18,78	nd	nd	1,45	9,2	61,69

Tabla 6.6. Resultados SEM-EDX (expresados como óxidos, % en peso) de los análisis globales de algunas escorias de post-reducción de La Fonteta (nd: no detectado).

En estas escorias se ha perdido abundante hierro en forma de óxido, con porcentajes que varían aproximadamente entre 40% y 75% FeO, alcanzando en un caso más del 90% FeO. Estos valores no han de extrañar si se considera que se trata de escorias que se han formado durante las operaciones de afino y forja por acumulación de las impurezas presentes en el metal trabajado; de hecho, suelen ser operaciones en las que las pérdidas de hierro pueden ser muy elevadas, en general con fenómenos de re-oxidación debidos al predominio de la atmósfera oxidante característica de la fragua, especialmente en proximidad de las zonas de insuflación del aire.

Los porcentajes de sílice detectados en estas escorias generalmente están comprendidos entre 18% y 22% SiO_2 , y los de calcio varían entre 8% y 20% Ca.

Como para las escorias de reducción, los valores resultantes de los análisis globales de estas muestras se han representado en un diagrama ternario de equilibrio de fases SiO_2 -CaO-FeO (Fig. 6.32).

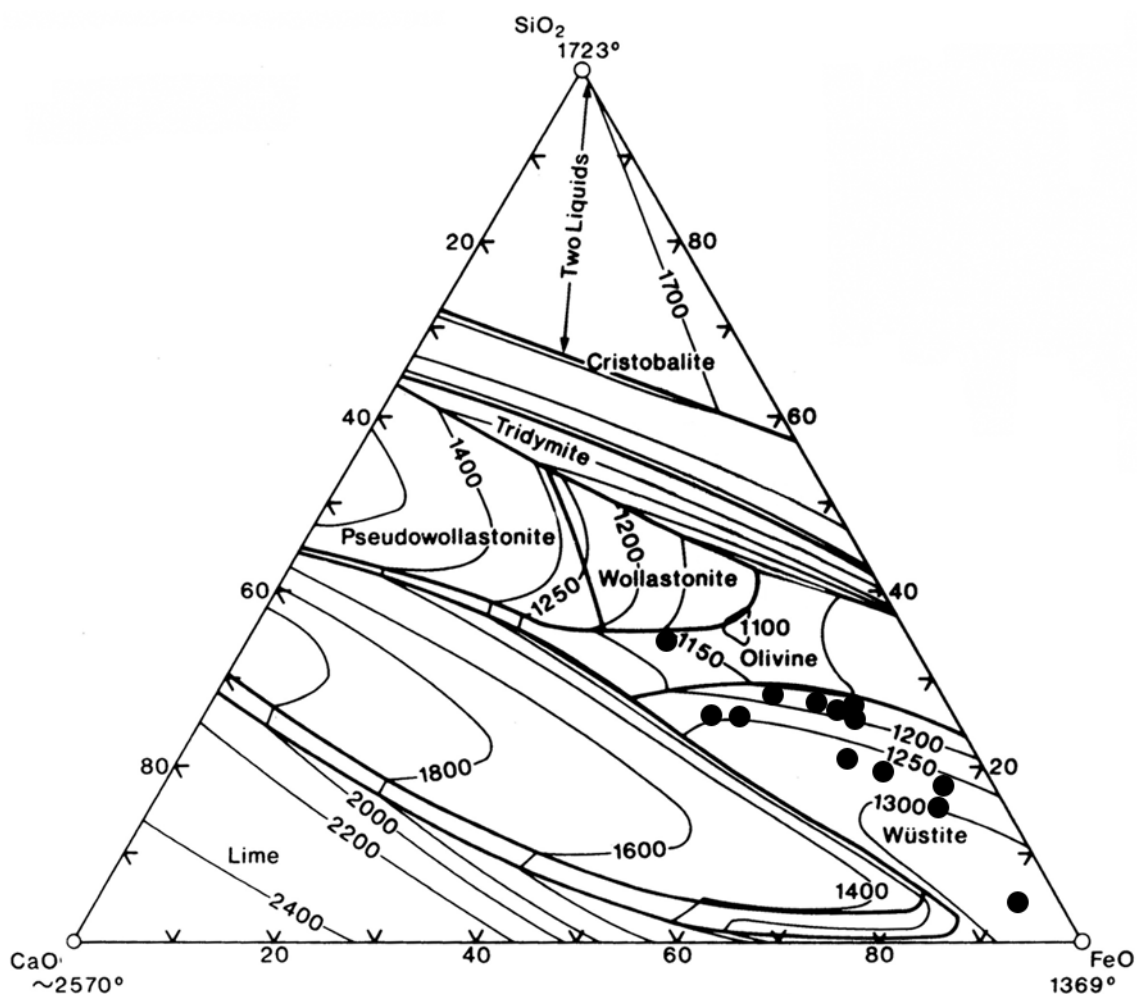


Fig. 6.32. Diagrama ternario de equilibrio de fases SiO_2 -CaO-FeO en el que se representan los puntos correspondientes a los análisis globales realizados mediante SEM-EDX de algunas escorias de post-reducción de La Fonteta.

La mayoría de las muestras cae en la zona de transición entre la región del olivino y la de la wustita, entre las isoterma de 1.150° y 1.250°C; cuatro se aproximan más a la región de la wustita, en un rango de temperaturas de 1.250-1.300°C, y sólo una se sitúa dentro de esta región. Por tanto, comparadas con las escorias de reducción, éstas reflejan una formación a temperaturas teóricas de trabajo ligeramente inferiores, como es de esperar en unas operaciones en las que supuestamente no es necesario alcanzar y

mantener temperaturas muy elevadas. No obstante, la microestructura de gran parte de las escorias analizadas, en las que se observan formaciones dendríticas de óxido de hierro, nos indica que en la estructura de combustión hubo episodios de temperatura más altas, de por lo menos 1.300°C, aunque se puede suponer que se trate de fenómenos localizados, ocurridos principalmente en las zonas más cercanas a los chorros de aire insuflado.

Resumiendo, las 15 muestras analizadas han sido clasificadas como resultado de operaciones de post-reducción de hierro de acuerdo con sus características morfológicas, microestructurales y composicionales. La presencia de laminillas englobadas en la superficie o en la matriz de las muestras, su morfología –a menudo en forma de calota–, la abundante presencia de óxido de hierro así como, en general, la ausencia de elementos que puedan ser directamente relacionados con operaciones de metalurgia primaria de hierro (relictos de mineral, restos de ganga sin reaccionar o parcialmente reaccionados, etc.), son todos factores que apoyan esta interpretación. Sin embargo, son muy escasos los elementos para poder distinguir de qué tipo de residuo de post-reducción se trata, es decir si estos materiales corresponden a escorias de afino de lupia o a escorias de forja.

Teóricamente, las escorias de afino suelen ser más heterogéneas y pueden presentar elevadas pérdidas de hierro metálico, en proporciones mayores respecto a las escorias de forja, pero no siempre es así ya que sus características dependen de distintos factores que influyen directamente en su aspecto, microestructura y composición, como la “limpieza” de la lupia, su tamaño, la duración de la operación, etc. Además, en algunas ocasiones las escorias de afino pueden conservar también elementos residuales de la reducción de minerales que se habían quedado atrapados en la lupia. Esta asociación de evidencias de forja del metal con elementos relacionados con los procesos de reducción permite distinguirlas más fácilmente de las escorias de forja propiamente dichas (las “calotas”), pero a su vez puede llevar a interpretarlas erróneamente como subproductos de operaciones de metalurgia primaria.

Por ejemplo, en el caso de algunas de las escorias analizadas (F11159, F41533-2, F41708-2 y F55004-2), la presencia de baritina –que en otras muestras se ha considerado una evidencia indirecta de reducción por ser una impureza común en los minerales metalíferos– coexiste con amplias zonas de oxidaciones secundarias de hierro por corrosión, islotes de metal residual y a veces con laminillas de forja englobadas en

la matriz de la escoria. Y estos pueden considerarse los únicos casos en los que se ha determinado con cierta seguridad que se trata de escorias de afino, mientras que todas las demás muestras analizadas se han clasificado como posibles escorias de forja o genéricamente como escorias de post-reducción.

6.2.3 Los microresiduos de forja: laminillas y globulitos

En La Fonteta se han documentado pequeñas acumulaciones de microresiduos asociados a las operaciones de martilleo del hierro (Fig. 6.33), aunque el registro actualmente disponible no es representativo de la entidad de las actividades de forja allí llevadas a cabo, ya que estos restos fueron recogidos durante la flotación de unas pocas muestras de tierra procedentes sólo de dos de los cortes excavados en el yacimiento.



Fig. 6.33. Algunos microresiduos de las operaciones de forja del hierro recogidos en La Fonteta.

Se trata de residuos de dimensiones muy reducidas (Fig. 6.34) y, por tanto, difíciles de identificar a simple vista: los más numerosos corresponden a pequeñas escamas pero se han documentado también algunos restos de forma esferoidal, unos pequeños glóbulos férricos generalmente huecos, y otros que presentan superficies irregulares con zonas rectas y otras curvas (Fig. 6.35).

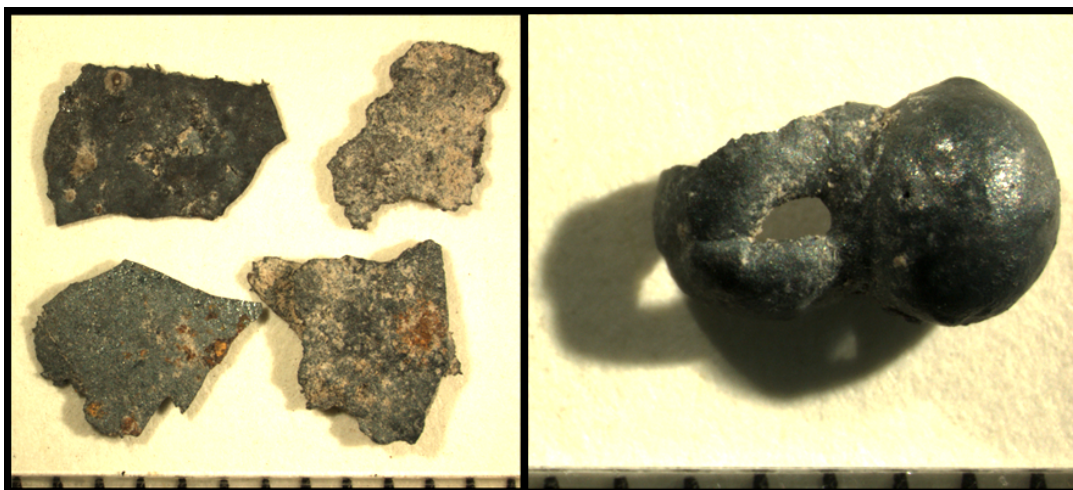


Fig. 6.34. Detalle de algunas laminillas y de un resto globular procedente de La Fonteta.

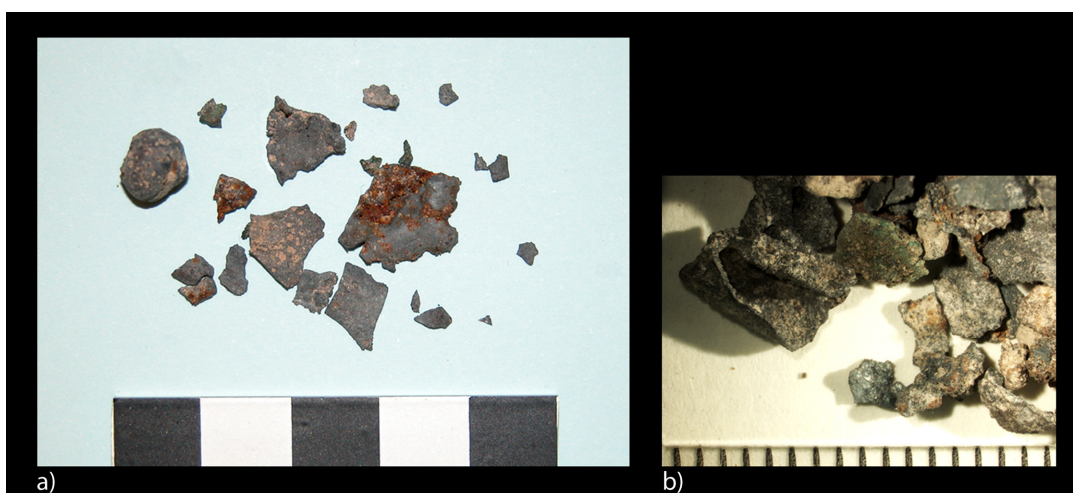


Fig. 6.35. a) Laminillas y restos globulares de forja de hierro de La Fonteta; b) detalle de la morfología de algunos de estos restos.

Sus dimensiones varían en función de la superficie del metal trabajado: la elaboración de una pieza de dimensiones reducidas produce pequeñas láminas pero, por ejemplo, en el caso de la manufactura de una espada u otros objetos de grandes dimensiones, estos restos pueden presentar tamaños mayores, aunque rara vez superan 1 cm, y suelen presentar grosores inferiores a 1 mm.

En general, estos microresiduos presentan superficies de color grisáceo-negruzco con alguna incrustación de óxido de hierro; tienen aspecto y textura metálica, y son fuertemente ferromagnéticos.

La mayoría de ellos procede del Corte 54-1 donde, en el depósito de vertidos metalúrgicos, se excavaron una serie de estratos cenizosos que se entrecruzaban con varias estructuras de combustión, que a veces estaban enteramente o parcialmente

superpuestas. Los microresiduos de forja han sido recogidos en los niveles de la primera fase de ocupación de La Fonteta (fases I-II). Otros restos se encontraron en el Corte 14 y han sido atribuidos a la fase III del yacimiento. Los excavadores mencionan la presencia de laminillas de forja también en el Corte 7, en los estratos correspondientes a los ambientes de función metalúrgica interpretados como parte de un taller de herrero (González Prats 1997), pero estos datos no han podido ser confirmados ya que no se recogió ninguna muestra de estos materiales.

Entre los restos de forja las laminillas son las más documentadas y se forman por la oxidación parcial de la superficie del hierro que se produce anteriormente a su forja, cuando éste se calienta en la fragua. Durante el martilleo el metal se deforma plásticamente y la superficie semioxidada por las elevadas temperaturas se vuelve quebradiza haciendo que salten pequeñas porciones en forma de escamas (véase la Fig. 6.2).

Por el contrario, con respecto a los restos de forja de forma globular, parece que su formación se produce durante la soldadura en caliente del metal. La combinación de temperatura y presión es suficiente para que primero se fundan las dos capas que se van a soldar y luego se expulsan los óxidos como líquido que, saltando, forman en el aire pequeños glóbulos (Dungworth y Wilkes 2009: 34-35).

Tres de los restos de forja encontrados, dos laminillas y un globulito, han sido estudiados por microscopía electrónica de barrido para observar sus superficies y analizar su composición (Fig. 6.36).

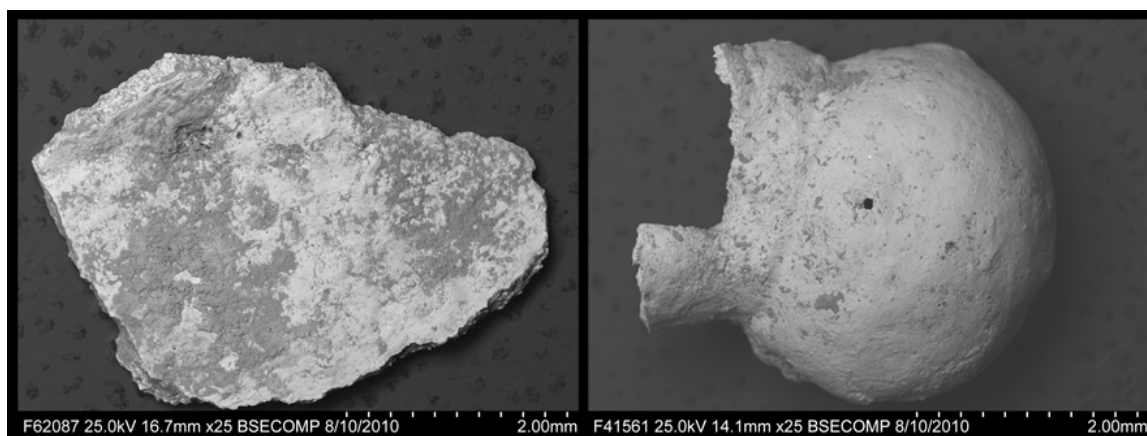


Fig. 6.36. Una de las escamas y el glóbulo de forja analizados. Imágenes SEM, electrones retrodispersados.

No se han detectado diferencias composicionales significativas entre los distintos residuos; en todos los casos se trata de materiales formados básicamente por óxido de hierro, con cantidades variables de sílice, aluminio y calcio, aunque ninguno de estos elementos ha sido detectado en cantidades mayores del 6,5% del total de la composición de la muestra (Fig. 6.37).

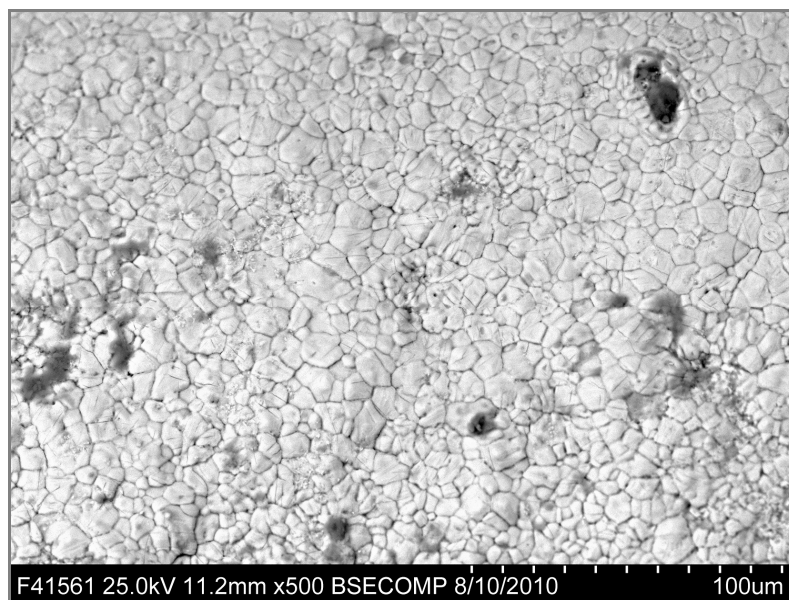


Fig. 6.37. Vista general de la microestructura de uno de los microresiduos de forja analizados. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Su presencia en los restos analizados es debida en gran parte a la contaminación del medio, como sugieren las incrustaciones de tierra que a menudo se aprecian en la superficie de estos materiales. Sin embargo, no es de excluir que parte de la sílice y de los otros elementos sea debida también a los eventuales restos de escoria todavía presentes en el metal trabajado o a la arena posiblemente utilizada para recubrir la superficie del hierro a forjar y evitar así su excesiva oxidación. De hecho, la ratio del óxido de hierro a los otros elementos varía en función de la calidad del metal que se está forjando: lupias más “limpias” producirán restos de forja con un contenido total de óxido de hierro mayor con respecto a un metal bruto menos refinado (Fluzin 1999).

Materiales similares han sido recogidos también en otros yacimientos contemporáneos de La Fonteta. Por ejemplo, el Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga) ha proporcionado residuos de ambos tipos, laminares y esferoidales, que se encontraron acumulados en proximidad de las estructuras de combustión excavadas en los Sectores

8A y 9A, así como dentro de estratos de vertidos al exterior de un edificio del Sector 8G (Rovira Hortalà 2005: 1267). También en los yacimientos fenicios de Toscanos (Vélez, Málaga) (Keesmann *et al.* 1989: 106) y de sa Caleta (Sant Josep de sa Talaia, Ibiza) (Rovira Hortalà 2007: 350) se han recogido materiales análogos asociados a las zonas de taller.

6.2.4 Estudio comparativo y discusión

Tradicionalmente, debido a los numerosos hallazgos de objetos férricos efectuados en el Próximo y Medio Oriente fechados en momentos anteriores a los que se consideran los comienzos de la nueva tecnología siderúrgica, se ha asumido que a principio del I milenio a.C. la producción y el uso del hierro en la madre patria fenicia fueran prácticas comunes y que, por tanto, la tecnología para su obtención ya estaría del todo desarrollada (véase, por ejemplo, Tylecote 1987 o Pleiner 2000).

Consecuentemente los fenicios, en su proceso de colonización, habrían exportado estos conocimientos metalúrgicos a Occidente y las evidencias arqueológicas de la producción del nuevo metal en el mundo colonial serían hornos de reducción evolucionados y escorias de sangrado (Renzi *et al.* en prensa_A). Sin embargo, como ya se ha visto en la introducción a este capítulo, la realidad arqueológica se muestra muy distinta tanto en el Oriente Próximo como en el mundo occidental. Por ejemplo, sólo pocos yacimientos del Mediterráneo oriental han proporcionado evidencias de las primeras fases de producción del hierro y la interpretación de estos residuos a menudo es incierta (Veldhuijzen y Rehren 2007). Asimismo, con respecto al resto del mundo fenicio occidental, la información disponible también es muy escasa y sólo contamos con un estudio de algunos materiales arqueometalúrgicos de Cartago (Túnez) realizado por Keesmann (2001) y otro de unas escorias procedentes de los niveles púnicos de Tharros (Cerdeña, Italia) llevado a cabo por Ingo *et al.* (1994).

Por lo que concierne a la Península Ibérica y Baleares, los testimonios más antiguos de la metalurgia del hierro han sido documentados en asentamientos fenicios y en algún poblado indígena que había tenido intensos contactos con los colonos, pero apenas se conocen estructuras de combustión y destaca la total ausencia de escorias de sangrado. Además, como para la zona próximo-oriental, la información disponible sobre estos subproductos metalúrgicos es todavía escasa y los estudios dedicados a su caracterización son insuficientes, reflejando una situación en muchos casos poco clara.

Entre los yacimientos fenicios peninsulares que han proporcionado evidencias de una producción temprana de hierro destacan: *Malaka*, La Rebanadilla, Toscanos, Cerro del Peñón (Keesmann *et al.* 1983, 1989), Morro de Mezquitilla (Keesmann y Hellermann 1989; Schubart 1999, 2006) y el Cerro del Villar (Rovira Hortalà 2005) en la provincia de Málaga; *Abdera*-Adra y Villaricos en Almería (Suárez Márquez *et al.* 1989; Carpintero 2009); Huelva (González de Canales *et al.* 2004), Cádiz y sa Caleta (Ramón Torres 2007), entre otros. Pero gran parte de estos materiales todavía no ha sido objeto de trabajos analíticos exhaustivos o sigue en proceso de estudio¹. Sólo se han analizado unas pocas escorias procedentes de algunos yacimientos de la provincia de Málaga, pero no siempre los resultados obtenidos proporcionan datos concluyentes sobre el tipo de proceso al que se vinculan.

Tampoco resulta diferente la situación en los pocos centros indígenas conocidos que han proporcionado evidencias tempranas de actividades siderúrgicas, como por ejemplo Los Castillejos de Alcorrín (Manilva, Málaga) (Marzoli *et al.* 2010), Carmona en provincia de Sevilla (Belén 2000) y El Castellar de Librilla en la provincia de Murcia (Ros Sala 1993).

El primer estudio analítico fue llevado a cabo sobre una selección de algunas escorias férricas procedentes de Toscanos y del Cerro del Peñón (Vélez, Málaga) fechadas entre finales del siglo VIII y el siglo VII a.C. Estos materiales presentan una morfología variada, y la mayoría de ellos tiene forma plano-convexa pero se han documentado también ejemplares nodulares, amorfos y de forma aplanada. Las escorias de mayores dimensiones miden alrededor de 10 cm.

Asimismo, se recogieron algunos fragmentos de hierro oxidado con abundantes restos de escoria adheridos. En su sección todavía se pueden apreciar algunos islotes metálicos residuales y podrían corresponder a fragmentos de lupia parcialmente o enteramente oxidados (Keesmann *et al.* 1989: 102).

En general, la microestructura de estos materiales es muy compleja; se trata de escorias de tipo fayalítico pobres en sílice en las que, según la muestra, puede haber

¹ Éste es el caso, por ejemplo, de los restos encontrados en las excavaciones de La Rebanadilla (Aeropuerto de Málaga), del Teatro Cómic de Cádiz o del casco antiguo de Huelva. Los materiales procedentes de estas excavaciones están siendo estudiados por nosotros en los laboratorios de I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid, y los correspondientes resultados analíticos todavía se encuentran pendientes de publicación.

mayores o menores concentraciones de óxido de hierro, normalmente wustita. Como en La Fonteta, varios ejemplares presentan una elevada riqueza en calcio que ha dado lugar a la formación de silicatos del grupo del olivino. A menudo se observan restos de hierro metálico englobados en las zonas de óxido y hay presencia de magnetita en forma de cristales idiomorfos o en bandas alargadas (probablemente laminillas férricas). En estas escorias la relación originaria entre las proporciones de hierro metálico, hierro (II) y hierro (III) [Fe, FeO, Fe₂O₃] ha sufrido una profunda transformación por la alteración secundaria del metal, causando la formación también de hidróxidos de hierro. En algunas muestras, aparte del hierro metálico, se ha detectado también la presencia de sulfuros de hierro (probablemente pirrotina) e inclusiones de cobre metálico englobadas en la matriz fundida.

Se trata de escorias que se han formado en un sistema en no-equilibrio y su composición varía notablemente dependiendo de la zona que se analiza. Debido a su heterogeneidad y a las elevadas pérdidas de hierro detectadas, Keesmann *et al.* (1989) han interpretado estos residuos como resultantes de operaciones de forja de hierro. La presencia en algunas de las escorias analizadas de finas bandas de óxido formadas por magnetita o hematites –que con toda seguridad corresponden a laminillas férricas– las ponen directamente en relación con operaciones de martilleo del metal bruto.

En Toscanos y en el Cerro del Peñón no se han identificado posibles escorias de reducción ni se han hallado fragmentos de mineral. Faltan pues elementos que permitan determinar el nivel tecnológico alcanzado en estos procesos siderúrgicos y qué tipo de recursos se estaban aprovechando para producir el metal allí trabajado. Sin embargo, Keesmann *et al.* (1989) consideran que los subproductos analizados estén reflejando una metalurgia del hierro muy desarrollada; la localización de estas escorias alrededor de las estructuras de combustión excavadas podría indicar además que, por su elevado contenido en hierro, estarían destinadas a ser recicladas en nuevas operaciones metalúrgicas (Keesmann *et al.* 1989: 105 y 107). Esta hipótesis, aunque su localización no es extraña ya que la posición primaria de las escorias de post-reducción suele ser la zona en torno a la fragua y al yunque, no es improbable; los procesos de reciclado tuvieron que ser comunes en época antigua porque permitirían recuperar parte del hierro perdido en la escoria.

El estudio de otras escorias férricas recogidas en el Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga), fechadas en la primera mitad del siglo VIII a.C., también sugiere

una situación similar a la de los otros dos yacimientos fenicios anteriormente descritos (Schubart 2006). De nuevo, se trata principalmente de escorias de forma plano-convexa, de composición y textura muy heterogéneas, que presentan abundante hierro metálico residual y amplias zonas constituidas por óxido de hierro. También en alguna de estas muestras se ha vuelto a detectar la presencia de inclusiones de cobre metálico y en otras se observan posibles laminillas de forja englobadas en la matriz de la escoria. Por tanto, según Keesmann y Hellermann (1989: 106), también en este caso se trataría de residuos resultantes de operaciones de post-reducción y, nuevamente, se hace mención del nivel tecnológico supuestamente alto alcanzado por los fenicios en la metalurgia del hierro y reflejado por estas escorias.

La teoría de una metalurgia fenicia del hierro supuestamente avanzada no parece estar respaldada ni por la realidad arqueológica ni por los datos analíticos que ofrecen los estudios realizados hasta ahora. Además, como se ha mencionado antes, es posible que esta teoría se forjase a partir de la idea preconcebida de que la siderurgia del mundo colonial occidental reflejaría la de la madre patria fenicia en la que, dicho sea de paso, hasta la fecha tampoco se han recogido evidencias de una tecnología del hierro especialmente desarrollada. Esta idea pudo contribuir pues a que se excluyera *a priori* la posibilidad de que las estructuras de combustión excavadas y algunas de las escorias allí recogidas constituyeran evidencias del procesamiento de minerales ya que, si se hubiera tratado de escorias de reducción, las muestras analizadas –que presentan pérdidas de hierro muy elevadas– implicarían un proceso metalúrgico poco eficiente. Asimismo, la tipología de los “hornos”, que corresponden a tipos sencillos y poco evolucionados (es decir, sin sangrado de la escoria), tampoco parecía apuntar a que estas estructuras pudieran haberse utilizado en la reducción de minerales.

Igualmente, la ausencia en estos yacimientos de fragmentos de minerales y de escorias de sangrado fue interpretada como un indicio indirecto de que en estos talleres metalúrgicos malagueños se llevaban a cabo solamente actividades de post-reducción de hierro. En el estudio de Keesmann *et al.* (1989: 107) se menciona claramente:

“...] faltan dos grupos de materiales que se habrían de esperar en un contexto metalúrgico, es decir escorias corrientes y minerales.”.

También la falta de grandes escoriales en zonas cercanas a estos yacimientos o en los yacimientos mismos sería una evidencia en negativo de que estos talleres

metalúrgicos fenicios no se dedicaban a operaciones para la obtención primaria de hierro. En Schubart (2006: 95), hablando del Morro de Mezquitilla, se afirma:

“[...] no era un taller de fundición primaria en el que se ganaba el metal presente en el mineral de hierro, porque si fuera así, tendrían que haberse encontrado cantidades de escorias mucho mayores, auténticos montones de escorias, así como pedazos de escorias de gran tamaño. [...] Por el contrario, los testimonios del sector del taller hablan a favor de un lugar en el que se limpiaba la materia prima, [...] Con un procedimiento semejante concuerdan las pequeñas cantidades de escorias.”.

Los materiales siderúrgicos analizados corresponderían pues exclusivamente a evidencias de operaciones de post-reducción, para el afino de metal bruto y para la producción y/o reparación de objetos, unas operaciones en las que se producirían sólo una pequeña cantidad de escorias; y, aunque es indudable que buena parte de estos materiales correspondan a escorias de afino o de forja, su presencia en un determinado yacimiento no excluye que actividades de post-reducción coexistieran con operaciones de metalurgia primaria, como se ha podido observar por ejemplo en La Fonteta. Además, tanto los grandes escoriales así como las escorias de sangrado, se empiezan a documentar en la Península Ibérica sólo a partir de época romana, cuando las técnicas metalúrgicas están más evolucionadas y la producción de hierro alcanza niveles “industriales” por el aumento del uso este metal, sobre todo debido a las necesidades bélicas cada vez más crecientes.

Tampoco la situación geográfica parecía sugerir que estos centros fenicios pudieran dedicarse a la producción de metal a partir de sus minerales. Ninguno de ellos se encuentra situado a pie de mina ya que se trata de yacimientos costeros y/o situados a una distancia relativamente grande (a más de 10 km) de las zonas mineras. De hecho, para la interpretación de las actividades metalúrgicas llevadas a cabo en un yacimiento antiguo, a menudo se ha aplicado un patrón “moderno” de aprovechamiento de los recursos mineros. Este modelo prevé la extracción y reducción del mineral en las mismas minas o en una zona cercana y el posterior transporte del metal en bruto (las lupias) a los talleres metalúrgicos correspondientes, en los que se refinaría y se trabajaría para la elaboración, y en algunos casos también la comercialización, de los productos acabados.

Aunque este patrón pueda reflejar una situación real en determinadas épocas históricas y/o en determinadas zonas geográficas, no hay evidencias que permitan aplicarlo también a la primera Edad del Hierro, por lo menos en la Península Ibérica. El

mismo caso de La Fonteta es un claro ejemplo de ello: no se conocen recursos mineros importantes en sus proximidades inmediatas –las minas más cercanas se encuentran a más o menos 30 km de distancia del enclave, en la Sierra de Crevillente hacia el norte y en la Sierra de Orihuela hacia el oeste–, sin embargo en el yacimiento se han documentado tanto materiales resultantes de operaciones de reducción de minerales como residuos de actividades de metalurgia secundaria y de la elaboración de piezas acabadas. Además, llama la atención que, de acuerdo con los estudios analíticos publicados hasta la fecha, en ninguno de los yacimientos contemporáneos de La Fonteta se hayan identificado materiales claramente clasificados como escorias de reducción. ¿Dónde se estaría produciendo pues el hierro trabajado por los fenicios? La hipótesis de una importación de las masas metálicas resultaría poco convincente en un territorio como el ibérico en el que abunda todo tipo de recurso minero, sobre todo las mineralizaciones de hierro.

Con respecto a las escorias de La Fonteta aquí estudiadas, se han identificado varios elementos que han permitido vincularlas con procesos de producción primaria de hierro: su microestructura, la presencia de posibles relictos de mineral, restos de la ganga y, en particular, la composición compleja de la mayoría de las inclusiones metálicas detectadas. Éstas corresponden en gran parte a arseniuros de hierro –frecuentemente acompañados por contenidos variables de cobre, plomo, níquel y/o algún otro elemento minoritario, como antimonio o estaño– y a inclusiones de hierro con distintas tasas de otros metales, principalmente arsénico, plomo, níquel y cobre.

La presencia de contenidos elevados de arsénico asociados al hierro y al níquel sugiere que podría tratarse de formaciones de speiss. En general, el speiss corresponde a un compuesto intermetálico formado por metales de transición y elementos del quinto grupo principal de la tabla periódica, como fósforo, arsénico, antimonio, bismuto, etc. (Thornton *et al.* 2009: 308). En el caso de las escorias de La Fonteta se trataría de “speiss ferroso”, es decir una mezcla de hierro arsenical y arseniuros de hierro con cierto contenido de metales base (que normalmente constituyen una componente minoritaria del total) y cuya formación está vinculada al aprovechamiento de minerales ricos en hierro y arsénico.

En la Península Ibérica no se han documentado objetos compuestos de speiss ferroso pero sí se conocen algunos hallazgos en el Próximo Oriente y en el mundo

griego. El testimonio más antiguo procede del yacimiento de Shahr-i Sokhta, en el Irán oriental y se fecha en la primera mitad del III milenio a.C. (Hauptmann *et al.* 2003). Otro fragmento de arseniuro de hierro parcialmente corroído fue encontrado en Poros-Katsambas, un yacimiento del Bronce Antiguo en el norte de Creta (Doonan *et al.* 2007).

Los hallazgos de speiss ferroso actualmente documentados incluyen también una masa de un material recocido formado por arsénico y hierro con algo de azufre procedente de los niveles del Bronce Antiguo-Bronce Medio de Jericó (Cisjordania) (Khalil y Bachmann 1981), y fragmentos de “lingotes” de hierro-arsénico encontrados en algunos centros dedicados a actividades metalúrgicas, como los ejemplares del II milenio a.C. del yacimiento turco de Boğazköy (Muhly *et al.* 1985) y de Tirinto en Grecia (Kilian 1983), o los del Bronce Final de Kamid el-Loz en Líbano (Frish *et al.* 1985). Recientemente se ha identificado speiss ferroso también en otro contexto arqueológico de Grecia, en Kythira, pero ha sido atribuido a la fase griego-romana (Broodbank *et al.* 2007).

En varios casos estos ejemplares de speiss han sido encontrados almacenados entre piezas comunes de hierro y no entre subproductos metalúrgicos, como por ejemplo escorias. Este “almacenamiento” de speiss sorprende si se considera que, aunque tenga un aspecto similar al de un metal, se trata de un material muy frágil que sólo puede ser trabajado por fundición y que tradicionalmente ha sido considerado un producto de desecho. Sin embargo, las evidencias arqueológicas parecen indicar que el speiss ferroso constituía otro tipo de metal, y el hecho de que no podía ser forjado pero sí fundido (su punto de fusión está alrededor de 930°C) quizás podría explicar, por ejemplo, porqué los textos hititas hablan de figuritas de hierro (Muhly *et al.* 1985: 73; Thornton *et al.* 2009: 309). En todo caso, este metal no tuvo que tener mucho éxito en la antigüedad probablemente por su elevada fragilidad, como parecen indicar la escasez de objetos fabricados en speiss ferroso documentados hasta hoy y también la falta casi total de escorias relacionadas con los procesos de obtención de este material. De hecho, a diferencia del speiss de metales base que está documentado en varios yacimientos ya desde el Calcolítico como subproducto de la reducción de minerales complejos de plomo o cobre ricos en arsénico y/o antimonio, los procesos en los que se forma el speiss ferroso no son del todo conocidos (para una visión general sobre el tema véase Thornton *et al.* 2009).

Una escoria con formaciones de speiss rico en hierro ha sido documentada en la Península Ibérica en el yacimiento de Almizaraque (Cuevas de Almanzora, Almería), en los niveles de principios del III milenio a.C. Pero, en este caso, debido a los elevados contenidos de óxido de cobre detectados en la escoria y a la cronología temprana de su contexto de procedencia, los autores consideran que su formación podría haber ocurrido durante procesos de obtención de cobre a partir de minerales cupríferos ricos en arsénico y que no hay indicios para poder relacionarla con otro tipo de procesos pirometalúrgicos (Müller *et al.* 2004: 44). Por tanto, la escoria de Almizaraque no parece constituir un posible antecedente para los materiales de La Fonteta y, actualmente, el paralelo más cercano está constituido por algunas escorias procedentes de un yacimiento del Bronce Antiguo de Irán, Tepe Hissar (IV-III milenio a.C.) (Thornton *et al.* 2009).

En estas escorias se han detectado inclusiones de arseniuro de hierro con composiciones bastante distintas entre ellas, en particular con contenidos variables de níquel, cobre y cobalto. En las zonas más oxidadas de las escorias se han detectado también contenidos bajos de azufre y unas pocas inclusiones de sulfuro de hierro con cobre y zinc. Por el contrario, donde el ambiente de trabajo era más reductor, se han encontrado pequeñas inclusiones compuestas exclusivamente por sulfuro de hierro y, en otros casos, por sulfuros de hierro con contenidos menores de arsénico y cobre. En una de las escorias se han detectado también inclusiones de sulfuros de plomo con algo de hierro y arsénico (Thornton *et al.* 2009: 311-313). Además, al igual que los ejemplares de La Fonteta, en las muestras iraníes el contenido de óxido de hierro es elevado y no se ha detectado óxido de cobre disperso en la escoria, indicando que no pueden relacionarse con procesos de obtención de cobre. De hecho, aunque en Tepe Hissar se llevaba a cabo también una metalurgia de base cobre, el análisis global de los subproductos resultantes muestra un contenido de óxido de cobre en la escoria de alrededor del 2% CuO que no se detecta en las muestras con formaciones de speiss (Thornton *et al.* 2009: 313).

Y con respecto a las condiciones termodinámicas en las que se formaron estas escorias, la atmósfera tuvo que ser suficientemente reductora y las temperaturas bastante controladas para que se mantuviera el alto porcentaje de arsénico detectado en las fases metálicas. La presencia de inclusiones residuales de sulfuro también es debida al mantenimiento de unas condiciones reductoras de trabajo: el azufre en el speiss se oxida

antes que el arsénico, por tanto las pérdidas de arsénico se minimizan si sigue habiendo suficiente azufre en el sistema (Thornton *et al.* 2009: 314).

En el caso de La Fonteta las condiciones redox del sistema fueron bastante variables, alternando episodios reductores con momentos muy oxidantes que en algunos casos han llevado, por ejemplo, a la formación de magnetita y/o de amplias zonas constituidas casi enteramente por óxido de hierro no reducido. Por tanto, la diferencia en el contenido de arsénico detectado en las distintas inclusiones de las muestras analizadas, así como las menores tasas de este elemento presentes en muchas de ellas comparadas con las de Tepe Hissar, podrían ser debidos a esos episodios oxidantes, al igual que la escasa presencia de azufre en las fases metálicas de La Fonteta (Thornton *et al.* 2009: 312).

Por lo que concierne al tipo de mineral utilizado en Tepe Hissar, Thornton *et al.* (2009) sugieren que podría tratarse de arsenopirita con intercrecimientos de pirita, una asociación bastante común en las mineralizaciones arsenicales. También podría haberse empleado lollingita (FeAs_2 , un arseniuro de hierro también conocido como loellingita o leucopirita) o escorodita ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), aunque su uso exclusivo ha de ser excluido ya que estos minerales no contienen azufre. De todos modos, tanto la lollingita como la arsenopirita se corroen superficialmente a escorodita, adquiriendo un color verde-azulado que además podría haber constituido un atractivo visual para los antiguos metalúrgicos (Thornton *et al.* 2009: 314).

En este punto, hay que preguntarse qué querían producir los metalúrgicos de Tepe Hissar en estos procesos: la opción de que se estuviera intentando obtener hierro es seductora en una época en la que todavía no hay ninguna evidencia de procesos pirometalúrgicos para la producción de este metal, pero debe de ser descartada por el contexto y por la asociación exclusiva de estas escorias de speiss con materiales resultantes de una metalurgia no-ferrosa. Los autores tampoco aceptan la hipótesis de que se trate de un proceso fallido para obtener cobre a partir de minerales con una especial riqueza en hierro y arsénico, porque consideran que en el Bronce Antiguo los conocimientos ya eran suficientemente buenos para escoger la materia prima idónea. Se inclinan pues a interpretar estas escorias como subproductos de procesos para una obtención intencional de speiss que, al no haberse documentado en el yacimiento objetos fabricados con este material, se utilizaría como componente aleante en la producción de cobre arsenical: para este fin el speiss obtenido se fundiría junto con el

cobre en un crisol, en condiciones oxidantes para que el hierro pudiera ser eliminado en la escoria (Thornton *et al.* 2009: 312).

Sin embargo, esta interpretación no puede ser aplicada al caso de La Fonteta. La cronología más tardía del yacimiento, el distinto contexto arqueológico con evidencias de que se estaban llevando a cabo diferentes tipos de producciones metalúrgicas y la total ausencia de cobres arsenicales nos llevan a considerar una interpretación distinta para explicar la presencia de inclusiones de speiss en las escorias estudiadas. Todas las evidencias apuntan a que este compuesto metálico se produjo de manera accidental en los procesos pirometalúrgicos destinados a la producción de hierro.

La presencia de sulfuros, inclusiones metálicas de composiciones muy distintas, algunas con presencia de metales nobles y/o plomo, son todos indicadores de que se estaban empleando minerales complejos de hierro ricos en arsénico y níquel. Es posible que también en este caso se estuvieran aprovechando minerales del tipo de la escorodita ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o de la lollingita (FeAs_2), cuya presencia está documentada en España aunque no en grandes cantidades (Galán y Mirete 1979). Estas menas –que pueden contener tasas significativas de níquel y cobalto– se encuentran raramente como minerales puros y ya se ha mencionado que suelen estar asociadas a otro tipo de minerales férricos, como óxidos o hidróxidos de las capas meteorizadas de los filones y/o a minerales sulfurados de hierro, en general pirita, arsenopirita y calcopirita. Una posible asociación del mineral empleado con calcopirita explicaría también la presencia del cobre metálico detectado en las escorias de La Fonteta.

Aparte de los de Tepe Hissar, en la Península Ibérica se han documentado otros materiales similares a los de La Fonteta, pero los resultados analíticos completos están todavía en fase de publicación. Se trata de algunas escorias procedentes del ya mencionado yacimiento de Los Castillejos de Alcorrín (Manilva, Málaga), un centro de origen indígena en contacto con los fenicios y contemporáneo de La Fonteta (Marzoli *et al.* 2010).

El análisis por microscopía electrónica de barrido de cinco escorias muestra la presencia de varias inclusiones de speiss ferroso, es decir de arseniuros de hierro ricos en níquel (alcanzando hasta un 40% Ni) y con algo de cobre; en algunos casos se han detectado también cobalto y antimonio. De nuevo, la composición de las fases metálicas de las escorias analizadas es muy variable, presentando distintos contenidos de los elementos mencionados. En varias ocasiones hay presencia de azufre y en una de las

escorias se ha encontrado una inclusión de sulfuro de hierro-cobre (calcopirita?) (Renzi *et al.* en prensa_B).

En Los Castillejos estamos ante otras evidencias del aprovechamiento de minerales de hierro de tipo complejo, muy ricos en arsénico, níquel y con presencia de cobre. Como para La Fonteta y Tepe Hissar, es posible que se trate de arseniuros de hierro como la lollingita u óxidos-hidróxidos de hierro del tipo de la escorodita con intercrecimientos de minerales sulfurados, según indica la presencia de azufre en varias de las fases metálicas y la inclusión de calcopirita detectada en una de las escorias.

Las escorias de Tepe Hissar y de Los Castillejos de Alcorrín constituyen pues los únicos paralelos hasta la fecha para los materiales aquí estudiados; sin embargo, merece la pena mencionar que se están llevando a cabo nuevos estudios analíticos sobre restos arqueometalúrgicos procedentes de varios yacimientos fenicios contemporáneos de La Fonteta. Se trata todavía de estudios preliminares pero los resultados obtenidos apuntan a una situación similar a la que se ha descrito, ya que en algunas de las escorias férricas analizadas se han detectado inclusiones metálicas de composición compleja, a menudo con contenidos apreciables de níquel, como por ejemplo en el caso de una escoria procedente del Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga) (Renzi *et al.* en prensa_A).

Esta situación sugiere que la explotación de minerales polimetálicos tuvo que ser bastante común para la época, sobre todo en la zona malagueña de la cual, como veremos más adelante, no es improbable que pudieran proceder también los minerales empleados en La Fonteta. De hecho, a la luz de estos nuevos resultados, podría ser significativo revisar los materiales procedentes de los yacimientos de Toscanos, Cerro del Peñón y Morro de Mezquitilla en los que la presencia en algunas de las escorias de cobre metálico, así como de inclusiones de sulfuros de hierro (Keesmann *et al.* 1989; Keesmann y Hellermann 1989) podría estar relacionada con el aprovechamiento de recursos de este tipo.

Ahora bien, una vez determinado el mineral que posiblemente se estaría aprovechando en los yacimientos estudiados, habría qué preguntarse en qué tipo de proceso metalúrgico se han formado escorias como las que se han analizado. Su microestructura y composición son compatibles con un método de reducción directa de minerales férricos mediante un proceso de escorificación no controlado, es decir sin la adición intencional de material fundente a la carga del horno para facilitar la formación de la escoria (Renzi *et al.* en prensa_A).

Una serie de experimentos realizados en la ciudad celtibérica de Segeda (Mara, Zaragoza) para reducir hematites en un pequeño horno cilíndrico, apuntan a esta hipótesis (Rovira Llorens y Burillo 2007). Cuando se funden minerales de hierro de buena ley o cuando los minerales tienen una ganga “autofundente”, es decir rica en sílice –como probablemente lo era la de los recursos utilizados en Tepe Hissar–, la falta o la aportación insuficiente de fundentes no representa un problema, ya que en teoría si el ambiente del horno es adecuadamente reductor y el mineral ha sido convenientemente preparado, la reducción en sólido del óxido a hierro metálico es posible sin que se produzca gran cantidad de escoria. El subproducto resultante estaría caracterizado por la composición mineralógica de la ganga más los aportes de los elementos contaminantes del entorno, de los restos de la estructura de combustión y de las cenizas del combustible. Este parece ser el caso de las escorias de La Fonteta en las que la matriz está constituida por materiales de tipo fayalítico, pero nunca fayalita propiamente dicha, o por la formación de silicatos complejos de hierro ricos en calcio (principalmente minerales del grupo del olivino, de la monticellita y piroxenos) (Renzi y Rovira Llorens 2007: 168).

Sin embargo, la abundante presencia de óxido de hierro disperso en forma de wustita en muchas de las escorias analizadas, es síntoma de un proceso poco eficiente. Hay dos factores principales que pueden explicar el porqué de esta ineficiencia del proceso: un tiempo de operación demasiado corto para lograr la reducción total del mineral y/o un ambiente reductor insuficiente en el horno. En realidad, esta segunda opción no parece del todo acertada ya que tanto la formación de los minerales del grupo del olivino como la kirschsteinita y el piroxeno requieren una atmósfera reductora. A pesar de la inestabilidad de las condiciones redox en las que se han formado las escorias de La Fonteta, hubo episodios suficientemente reductores para que pudieran formarse estas fases minerales y para que por lo menos parte del óxido de hierro pudiera reducirse a metal. Quedaría pues la primera razón como explicación del fallo del proceso metalúrgico, es decir que los tiempos de operación fueron demasiado escasos para que pudiera completarse la transformación del mineral en metal.

La morfología de las estructuras pirometalúrgicas excavadas en el yacimiento nos proporciona datos importantes para comprender las dinámicas del proceso de formación de estas escorias. Como se ha mencionado en el Capítulo 2, en La Fonteta se han desenterrado varias cubetas de 50-60 cm de diámetro y unos 30-40 cm de profundidad que presentaban evidentes signos de afectación térmica en las paredes, contenido

cenizoso y varios fragmentos de escoria en el interior y en sus alrededores. Estas cubetas podrían interpretarse como estructuras residuales de hornos de pozo de escoria; en una de ellas todavía puede apreciarse el arranque de la pared cilíndrica que constituiría el verdadero cuerpo del horno (Fig. 6.38). Las escorias producidas en estructuras pirometalúrgicas de este tipo toman la forma de un bloque más o menos plano-convexo como, por ejemplo, las escorias F41524, F41533-1 o F41536-3 de La Fonteta (se puede ver un ejemplo en la Fig. 6.3).



Fig. 6.30. Corte 8. Detalle del Horno 3 en el que se aprecia el arranque de la pared. Foto A. González Prats.

En estos hornos la lupia de hierro se forma a la altura de las toberas, que suelen estar situadas al nivel del suelo o poco más altas, pero siempre por encima del pozo. En ese plano del horno es donde la temperatura es más elevada y donde se produce el monóxido de carbono que actúa como agente reductor. Si el descenso de la carga por debajo de las toberas es demasiado rápido no hay tiempo para reducir el óxido de hierro, que cae al pozo y se integra con la escoria; ese descenso rápido generalmente es debido

a una proporción de carbón demasiado baja en relación con el mineral (Renzi y Rovira Llorens 2007: 168-169). Es probable que una situación de este tipo haya sido la causa de la ineficiencia del proceso metalúrgico en el que se han formado las muestras estudiadas de La Fonteta y, dada la elevada pérdida de hierro que las caracteriza, no se debería excluir la posibilidad –como para los materiales escoriáceos de Toscanos, Cerro del Peñón y Morro de Mezquitilla– de que estas escorias fueran “almacenadas” para su reciclado en nuevas operaciones de obtención de hierro.

Con respecto a las escorias de post-reducción de La Fonteta, tanto su morfología como la presencia de amplias zonas de hierro metálico residual y/o de oxidaciones secundarias del hierro, junto con la presencia en algunos casos de las típicas escamas de forja englobadas en la superficie o en la matriz de la escoria, han jugado un papel determinante para su identificación. Se trata mayormente de escorias de forma ligeramente triangular o elíptica y de perfil plano-convexo, cuya morfología reproduce la forma de la cubeta en la que se han formado. En general, su tamaño varía entre 6 y 8 cm de diámetro, habiéndose documentado sólo dos ejemplares de mayores dimensiones (~10 cm). El tamaño variable de estos materiales puede depender de la longitud de la unidad de trabajo en la fragua y de las dimensiones de la lupia trabajada; de hecho, se han documentado también escorias de morfología diferente (principalmente de tipo nodular o aplanado) y de menor tamaño respecto a la tipología anteriormente descrita, que serían compatibles con unidades de trabajo más cortas (Serneels y Perret 2003).

En algunas de las escorias de post-reducción analizadas se han identificado elementos que muestran una vinculación directa con el tipo de metalurgia sugerida por los materiales escoriáceos formados durante la reducción de minerales complejos. Aparte de la similitud observada en la microestructura y la composición de estas dos categorías de escorias, varias de las de afino presentan inclusiones metálicas cuya composición se aproxima a la de las fases metálicas detectadas en las escorias de reducción. Se trata de inclusiones de hierro con tasas variables de otros elementos (principalmente cobre, níquel y arsénico) presentes en cantidades sensiblemente inferiores respecto a la otra categoría de escorias, y en la mayoría de los casos hay una escasa presencia o una total ausencia de elementos volátiles: sólo hay arsénico en dos muestras, en las que su contenido nunca supera el 2% As con la excepción de una única inclusión de gran tamaño (0,05 mm) en la que se ha detectado un 5% As. Por tanto, se puede suponer que las impurezas del mineral original, que se habrían quedado atrapadas

en la masa de hierro bruto, irían desapareciendo a lo largo de las distintas fases del proceso siderúrgico permitiendo obtener un hierro suficientemente puro para poder ser trabajado adecuadamente. En efecto, ninguno de los objetos férricos analizados de La Fonteta presenta impurezas significativas de los elementos presentes en las fases metálicas de estas escorias, a excepción de una única pieza que, como se verá en el capítulo de esta Tesis dedicado al estudio de los elementos metálicos (Cap. 10), presenta casi un 20% de níquel y un contenido apreciable de arsénico (alrededor de un 2% As).

En otras escorias también identificadas como resultantes de procesos de afino, se han observado amplias zonas de óxido de hierro localizado mayormente en los bordes de las muestras. Estos islotes suelen estar constituidos por alteraciones secundarias de porciones de hierro metálico que se habrían desprendido durante la purificación de la masa metálica incorporándose a la escoria; en otros casos, se observan unas finas “bandas” de óxido de hierro que probablemente corresponden a alguna laminilla férrica saltada durante las operaciones de martilleo del metal y que estaría disolviéndose y reaccionando con la matriz de la escoria.

La presencia de restos de forja en las escorias es un indicador importante del proceso de formación de estos materiales; asimismo, su presencia en cantidades significativas en un yacimiento puede proporcionar datos relevantes para la interpretación de la función del ambiente o espacio en el que se recogen. Estos materiales indican claramente en qué fase de la cadena operativa de la producción de metal nos encontramos y se suelen encontrar principalmente alrededor de la zona de forja. Permite así localizar la posición del yunque que estaría situado a escasa distancia de la fragua para que el metal pudiera ser trabajado antes de su total enfriamiento (Fluzin 1999: 76).

En el caso de La Fonteta, la presencia de microresiduos de forja ha permitido identificar por lo menos tres zonas del yacimiento claramente utilizadas para estas actividades: el Corte 54-1, en el que se han excavado varios niveles de vertidos metalúrgicos con algunas estructuras de combustión; el Corte 14, en el que se han documentado viviendas utilizadas como talleres metalúrgicos; y el Corte 7 en el que los excavadores mencionan la presencia de laminillas férricas en otro espacio identificado como taller (González Prats 1997).

Finalmente, es significativo notar que en todos los cortes mencionados, los restos de forja coexisten con subproductos vinculados también a otros tipos de metalurgia,

sugiriendo que en La Fonteta no había una especialización de los espacios dedicados a las actividades metalúrgicas y que tanto la producción de metales ferrosos como no-ferrosos se realizaban dentro del mismo ambiente y, posiblemente, utilizando las mismas estructuras de combustión.

7. LAS TOBERAS

7.1 INTRODUCCIÓN

Las toberas son tubos de material refractario que se emplean para aumentar la ventilación en el interior de los hornos dirigiendo el aire sobre el carbón incandescente, permitiendo así alcanzar temperaturas más altas y facilitar el proceso de reducción del mineral. Estas toberas se activaban generalmente por medios manuales, acoplándoles un fuelle o unas cañas a través de las cuales se podía soplar, dado que la alimentación de aire desde abajo por ventilación natural sólo podía producirse en las zonas en las que las condiciones atmosféricas lo permitían. Habitualmente estaban situadas en el interior de la estructura de combustión de manera que la corriente de aire pudiera incidir alternativamente, de modo rasante, sobre la carga del horno que estaba constantemente cubierta por una capa de carbón ardiente. De hecho, las toberas presentan a menudo en su parte terminal signos de impacto térmico, como vidriados o escoriñaciones (Renzi 2010: 137).

Los ejemplares más antiguos y más sencillos de toberas conocidos hasta la fecha son elementos de arcilla de forma cónica con una perforación cilíndrica cuya variante más elaborada presenta una perforación mayor en el extremo en el que se inserta el fuelle y una perforación más pequeña en el extremo opuesto, o boca, que se coloca en el horno (Tylecote 1976: 17). En realidad, se debería hablar más propiamente de boquillas de soplado, unos elementos cerámicos tubulares que en la bibliografía a menudo vienen definidos como toberas a pesar de que existen características específicas que los diferencian. Las boquillas suelen presentar menor tamaño y su función es la de proteger el extremo del tubo de soplado (*blowpipes*) –que puede ser una caña u otro material orgánico vegetal– de las altas temperaturas del hogar.

El funcionamiento de estas boquillas protectoras está bien ilustrado en varias pinturas de tumbas egipcias de diferentes cronologías, desde el reino antiguo hasta el periodo tolemaico. En esas pinturas se representan distintos tipos de actividades para la producción de metales y orfebrería llevada a cabo mediante un sistema de ventilación de la estructura de combustión con elementos alargados de forma tubular cuyo extremo presenta un ensanche que correspondería a una boquilla de soplado (Fig. 7.1).

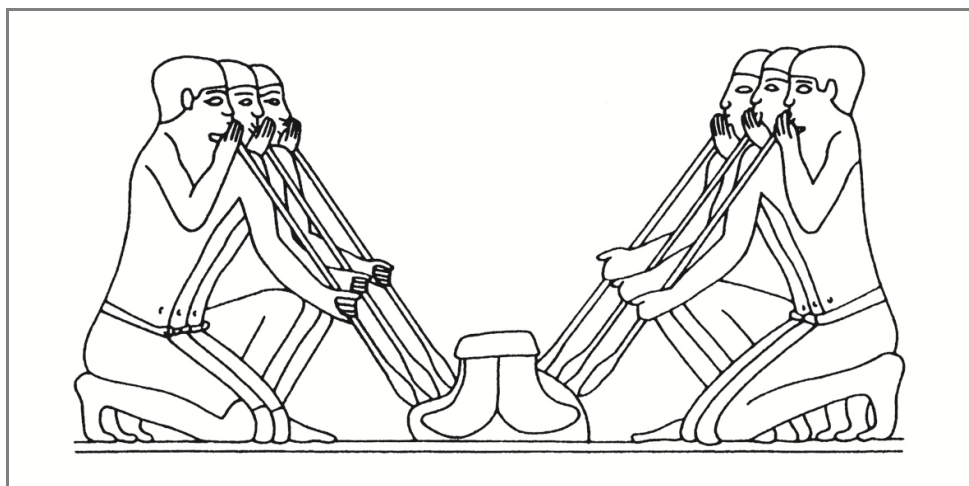


Fig. 7.1. Representación egipcia de una operación pirometalúrgica en crisol en la que se están empleando tubos de soplado. Tumba de Mereruka, VI Dinastía (2450-2350 a.C.), según Duell 1938.

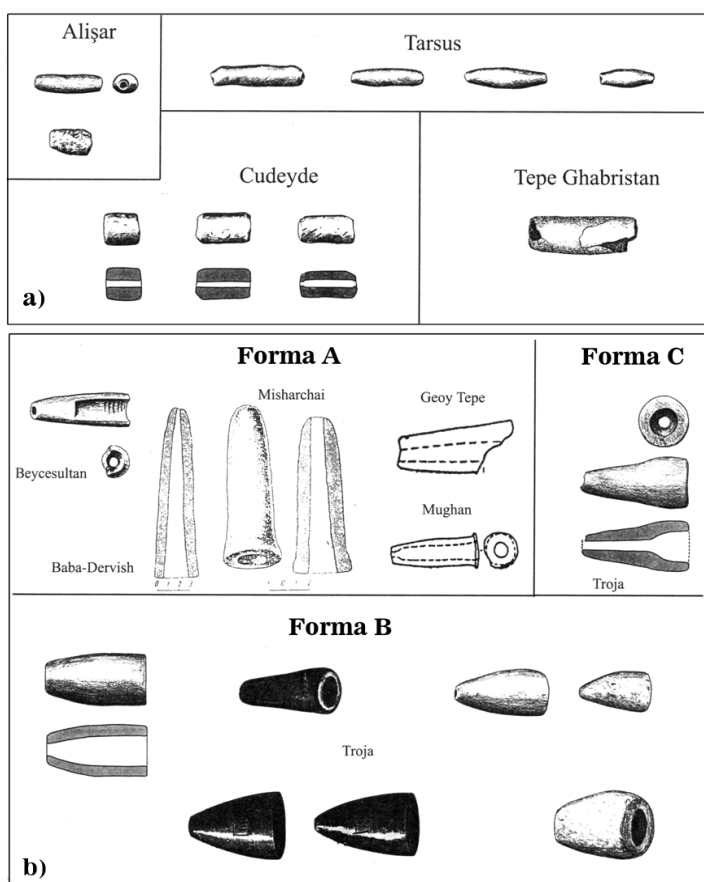


Fig. 7.2. Variantes principales de boquillas de soplado: a) Tipo 1: ejemplares de paredes rectas y perforación cilíndrica; b) Tipo 2: ejemplares de forma cónica y perforación en embudo. Según Gailhard (2009: 199).

Algunas son simples tubos cilíndricos con una perforación central de paredes paralelas pero la mayoría tienen perforación en forma de embudo, con un diámetro de boca más ancho en su extremo y que progresivamente se va estrechando para configurar una perforación central de paredes aproximadamente rectas y paralelas (Fig. 7.2).

Varias boquillas completas proceden del yacimiento de Valencina de la Concepción (Sevilla) y se fechan entre 2750-2500 a.C.

(Nocete *et al.* 2008: 728); miden aproximadamente 10 cm de longitud y presentan una embocadura de unos 3-4 cm de diámetro con una salida de aire de 1,5-2 cm (Fig. 7.3). De hecho, en las boquillas con orificio en forma de embudo, el tamaño de la abertura puede ser relativamente grande mientras que el de la salida suele ser mucho menor,

entre 5 y 10 mm de diámetro máximo; y es en la abertura grande donde se encaja el tubo de insuflación, dado que la salida del aire debe tener un diámetro reducido para que la presión del chorro tenga la fuerza suficiente para penetrar entre los carbones ardientes.



Fig. 7.3. Boquillas de soplado procedentes de Valencina de La Concepción (Sevilla), según Nocete *et al.* 2008.

En algunos casos, en la zona de encaje con el tubo de soplado todavía se puede apreciar alguna huella que sugiere que la boquilla fuera construida *ad hoc* con barro al comenzar la operación pirometalúrgica, y se cociera por su proximidad al fuego durante este proceso.

Aparte de los ejemplares de Valencina de la Concepción, en general para las fases tempranas de la metalurgia ibérica los hallazgos conocidos de toberas/boquillas son muy escasos. Hay pocos fragmentos documentados que proceden de niveles calcolíticos y de la Edad del Bronce y que a veces son de incierta interpretación.

Los ejemplares más antiguos claramente identificados proceden de dos poblados fortificados de época calcolítica, Pedra do Ouro (Alenquer, Lisboa) (Leisner y Schubart 1966) y Vila Nova de São Pedro (Azambuja, Lisboa) (Jalhay y Paço 1945). Un pico de tobera (más probablemente un fragmento de boquilla) procede del abrigo de Buraco da Pala (Mirandela, Portugal) (Comendador Rey 1998: 112), y se han encontrado dos ejemplares en el pequeño abrigo rocoso de la Bauma del Serrat del Pont (Tortellà, Girona) (Alcalde *et al.* 1998: 91-92), en ambos casos atribuibles a niveles del III

milenio a.C. A la misma cronología pertenecen también los ejemplares recogidos en el yacimiento de La Sierrecilla (Santa Amalia, Badajoz) (Cruz Berrocal *et al.* 2006: 65) y en el Camino de las Yeseras (San Fernando de Henares, Madrid) (Blasco y Ríos 2010: 362-363, fig. 4), y otro procedente de São Brás 1 (Santa María, Serpa) en Portugal (Soares *et al.* 1994: 171-172). No se conocen ejemplares adscritos al Bronce Antiguo mientras que hay mención de dos hallazgos, aunque dudosos, en contextos del Bronce Medio en Motilla de Santa María del Retamar (Argamasilla de Alba, Ciudad Real) y en el Cerro del Cuco (Quintanar del Rey, Cuenca) (Gómez Ramos 1996a). También se han documentado un par de fragmentos de posibles toberas o boquillas en el yacimiento argárico de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén) (Moreno Onorato 2000: 184 y 192).

Por tanto, debido al escaso registro de toberas y boquillas para las fases anteriores al I milenio a.C., se ha supuesto que en esos momentos cronológicos podría haberse empleado también un sistema más sencillo de aireación del horno (Gómez Ramos 1996b), probablemente usando solamente tubos de insuflación obtenidos con material perecedero que sólo en algunos casos se habrían protegido insertando elementos cerámicos tubulares en el extremo inferior. Un sistema de aireación de horno de este tipo no resulta improbable si se considera que en estas épocas era común para la producción de cobre y bronce la utilización de vasijas de reducción de minerales en estructuras de fuego abierto (Rovira Llorens y Ambert 2002).

Es sólo a partir de un momento avanzado del Bronce Final-inicios del período Orientalizante cuando se documenta un aumento significativo del registro de toberas y de boquillas (Gómez Ramos 1996b). Este incremento puede significar un cambio en la tecnología de los hornos y, además, podría ser debido al aumento de la demanda de metal que se produce por la presencia más estable de los fenicios en la Península Ibérica. De hecho, los hallazgos de numerosos fragmentos de tobera en las propias colonias fenicias y en algunos yacimientos indígenas que han tenido relaciones más directas con los colonos parecen apoyar esta hipótesis.

Se empiezan a documentar tipologías más complejas que presentan, por ejemplo, un desarrollo curvo o acodado del cuerpo, o una sección cuadrangular, dependiendo de la función que debían realizar en los procesos metalúrgicos. Asimismo, la longitud y el tamaño de la sección podían variar según el tipo de estructura de combustión a la que se acoplaban. También el diámetro de las perforaciones es variable aunque, en todos los casos documentados, siempre está comprendido entre 1 cm y 2 cm. De hecho, en una

tobera, por la cinética del gas encerrado a presión dentro del fuelle, cuanto más reducido sea el diámetro de la perforación a más velocidad sale el flujo de aire, dentro de los límites razonables del trabajo aplicado por un hombre accionando manualmente el fuelle, es decir con sus brazos o con sus piernas (Renzi 2010: 138).

En el caso de un horno, la función de una tobera es suministrar el oxígeno necesario para que se produzcan las reacciones químicas que favorecen la reducción de los minerales, incrementando la producción de monóxido de carbono y activando la combustión del carbón para subir la temperatura; en una hornilla para fundir metal lo que se busca es simplemente subir la temperatura cuanto antes, para que se produzca el cambio de estado y se forme el caldo metálico. Son dos funciones bien diferenciadas por sus objetivos y es necesario que tanto el flujo de aire como la geometría del sistema permitan resolver adecuadamente estas cuestiones. Un caudal adecuado pero a velocidad lenta concentrará la combustión y las reacciones muy cerca de la boca de la tobera, mientras que el mismo caudal a mayor velocidad extenderá el área de reacción más lejos. El diámetro de la perforación de estos tubos de ventilación es por tanto una condición clave ya que, además, la velocidad de la combustión –es decir la cantidad de calorías que se obtienen por unidad de tiempo (que son las que hacen subir la temperatura)– depende de la velocidad de inyección de aire. Por tanto, un volumen de aire con más velocidad permite alcanzar temperaturas más altas y esto explica por qué el diámetro de las perforaciones de las toberas nunca excede los 2 cm; un diámetro mayor no sería efectivo. Y quizá por ello se podría explicar también la leve disminución del diámetro de las perforaciones de las toberas a lo largo de su desarrollo, que se ha documentado frecuentemente (Renzi 2007: 175).

7.2 LAS TOBERAS DE LA FONTETA

La Fonteta ha proporcionado un relevante conjunto de toberas constituido por más de 400 fragmentos. Las piezas documentadas destacan por su variedad tipológica y se enmarcan en un arco cronológico que va desde los comienzos del siglo VIII a.C. hasta finales del siglo VII a.C. Actualmente, este conjunto de toberas se puede considerar el más abundante y variado conocido en un yacimiento fenicio de la Península Ibérica; de hecho, aunque en las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en la ciudad de Huelva se ha recogido un conjunto de 87 ejemplares (González de Canales *et al.* 2004:

147-148) y el yacimiento fenicio de La Rebanadilla, en la zona de las obras de ampliación del aeropuerto de Málaga, ha proporcionado más de 50 toberas (Sánchez-Sánchez-Moreno *et al.* 2011) –todas correspondientes al tipo prismático de perforación individual, con la única excepción de un ejemplar corniforme¹–, ningún yacimiento contemporáneo ha aportado hasta la fecha tal cantidad de toberas.

El estudio de este material procedente de La Fonteta ha permitido definir la variabilidad de las formas y observar si ese cambio formal responde a algún factor tecnológico vinculado con actividades metalúrgicas o con el tipo de producto metálico procesado. Para ello, se han definido los tipos que pueden identificarse, su frecuencia en las diferentes fases, su contexto de aparición y, en los casos en los que ha sido posible, se ha efectuado el análisis elemental de los restos escoriaceos adheridos a las bocas de estas toberas (Renzi 2007: 166).

7.2.1 Clasificación de los tipos de tobera

No se han encontrado ejemplares completos de toberas, siendo la mayoría de ellos fragmentos de tamaño reducido. Dentro de este conjunto, que alcanza un total de 422 fragmentos, se han definido cuatro grupos principales: cilíndricas, corniformes, de sección en D y prismáticas; dentro de este último grupo ha sido posible distinguir también subtipos. Y aparte de los ejemplares que han sido identificados como pertenecientes a unos de estos cuatro tipos principales, hay que mencionar un abundante número de fragmentos que, a falta de elementos diagnósticos que permitieran su oportuna clasificación, se han definido genéricamente como “indeterminados”. Aquí se han incluido todos aquellos cuyas características morfológicas han permitido una clara identificación como toberas, sin poder clasificarlos en ninguna de las tipologías documentadas, por su mal estado de conservación y/o por su reducido tamaño.

Para la fabricación de estas toberas, se han empleado dos tipos distintos de pasta cerámica: uno se caracteriza por su color rojizo-marrón, está formado por arcilla poco depurada mezclada con escasa materia vegetal y presenta abundantes desgrasantes minerales de distintos tamaño, generalmente evidentes a simple vista; el otro tipo se caracteriza por el uso de una arcilla de color claro más depurada y desgrasantes principalmente vegetales.

¹ Vicente M. Sánchez y Lorenzo Galindo (Arqueoestudio), comunicación personal.

Todos los ejemplares encontrados en el yacimiento no parecen haber sido precocidos antes de su uso; la pasta de algunos de ellos podría considerarse todavía en crudo. En los fragmentos en los que se ha conservado el extremo de la boca, se aprecia claramente la diferencia de cocción de la pasta cerámica de las zonas más cercanas a los carbones; los signos de afectación térmica van disminuyendo gradualmente a lo largo del desarrollo del cuerpo de la tobera.

7.2.1a) Toberas cilíndricas

Las toberas cilíndricas presentan una amplia variedad de tamaños y grosores (Fig. 7.4) pudiéndose distinguir dos subtipos: uno con paredes paralelas (Fig. 7.5b y d) y otro con tendencia cónica, donde las paredes se estrechan ligeramente a lo largo de su desarrollo (Fig. 7.5a y c). Del primer subtipo hay pocos ejemplares y la sección a menudo resulta de tendencia irregularmente circular. La perforación en la mayoría de los casos no se encuentra en posición central, sino desplazada hacia un lado y también su sección puede resultar irregular (Fig. 7.5a-c). El diámetro externo de estas toberas varía entre los 3,3 cm y los casi 7 cm de los ejemplares mayores. Las perforaciones también presentan un diámetro variable cubriendo un rango que va desde un mínimo de 1,2 cm hasta un máximo de 1,8 cm.



Fig. 7.4. Ejemplo de los distintos tamaños de las secciones de las toberas cilíndricas de La Fonteta.

Hay que hacer notar que en la mayoría de las piezas con sección completa pertenecientes a ambos subtipos, el tamaño de la perforación disminuye a lo largo de su desarrollo. Por ejemplo, en la tobera F31001 (Fig. 7.5c) la boca presenta un diámetro de

3,3 cm y una perforación casi central de 1,4 cm. El fragmento presenta un desarrollo conservado de 5,5 cm disminuyendo los diámetros en el extremo hasta los 3 cm el exterior y 1,2 cm el de la perforación.

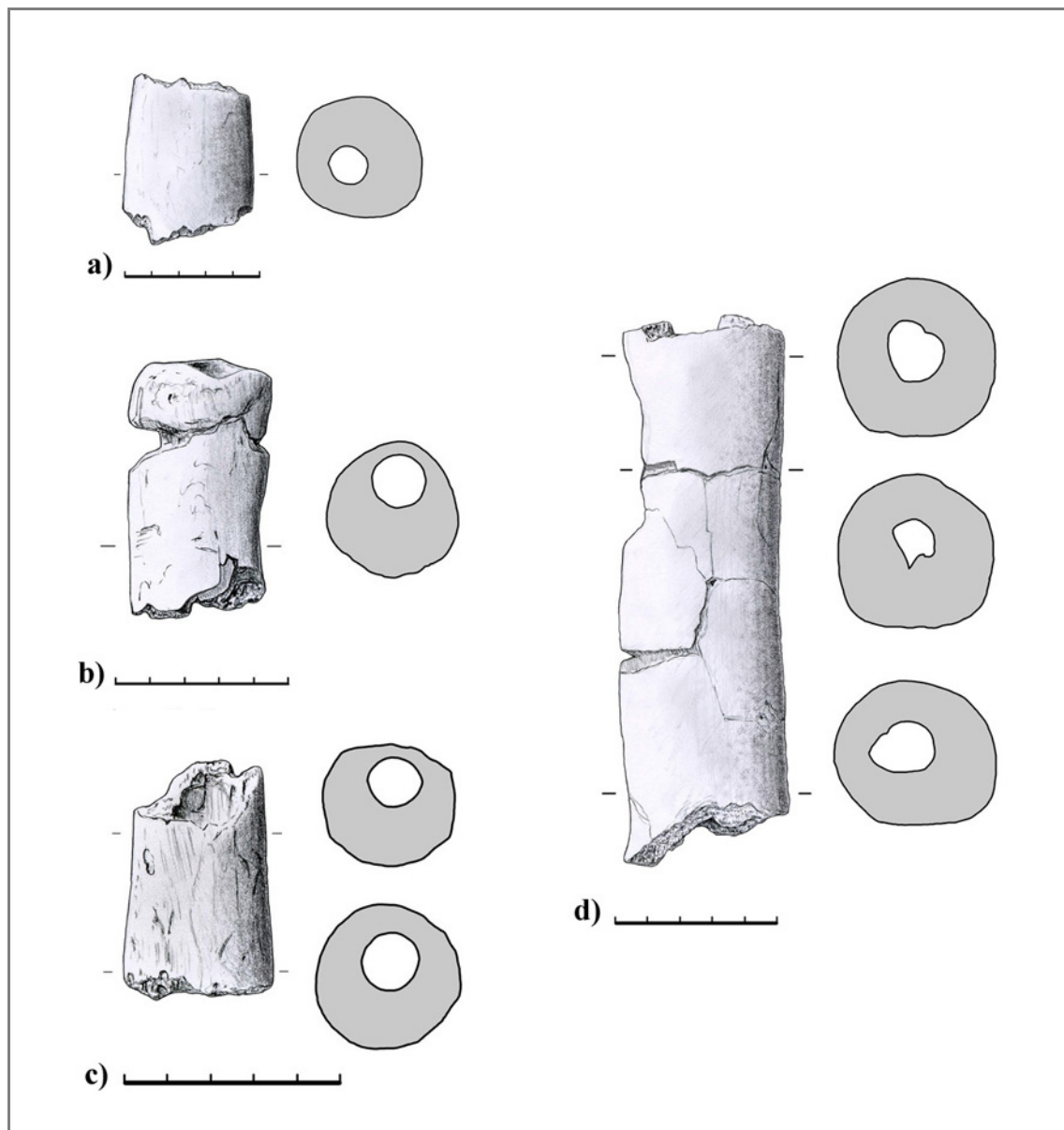


Fig. 7.5. Toberas cilíndricas de La Fonteta: a) y c) con tendencia cónica; b) y d) con paredes paralelas. Dibujo realizado por Félix García Díez.

El ejemplar F21117 (Fig. 7.6) es el mejor conservado de la colección, aunque está reconstruido. Presenta una longitud de 16 cm y pertenece al tipo de paredes paralelas. Su diámetro externo se mantiene constante en 4,8 cm, sin embargo, las dimensiones de la perforación son irregulares, 1,7 y 1,2 cm en los extremos, con un engrosamiento central que alcanza los 2 cm.



Fig. 7.6. Tobera cilíndrica F21117.

Gracias a su estado fragmentario, se ha podido apreciar un doblez en la sección (Fig. 7.7), como si se hubiera fabricado la tobera enrollando una capa espesa de arcilla mezclada con material vegetal alrededor de un núcleo de caña o de una madera fina. Un desplazamiento de esta capa durante su secado podría explicar la sección irregular de la perforación y la diferencia en su diámetro en el desarrollo de la pieza.



Fig. 7.7. Detalles del doblez de la sección de la tobera cilíndrica F21117.

En general, la pasta cerámica característica de este grupo tiene un color claro, una composición bastante homogénea y textura ligeramente porosa; la arcilla es depurada con presencia de abundantes desgrasantes vegetales. El efecto térmico de las operaciones metalúrgicas ha producido en la sección de las paredes una típica coloración estratificada con un núcleo central oscuro debido a un ambiente más reductor y una capa externa más clara por haber sido expuesta a una mayor oxidación. Algunos

ejemplares, por el contrario, no parecen haber sido expuestos a la acción del fuego, presentando una pasta que por su color y textura podría definirse cruda.

La mayoría de los ejemplares de tobera conocidos desde las primeras fases metalúrgicas peninsulares pertenecen a este tipo cilíndrico, aunque –como ya se ha mencionado anteriormente– en gran parte de los casos deberían denominarse más propiamente boquillas de soplado.

Toberas de sección circular se han documentado en numerosos yacimientos fenicios e indígenas peninsulares de cronología contemporánea a La Fonteta, como por ejemplo en Huelva (González de Canales *et al.* 2004: 147), Cerro Salomón (Riotinto, Huelva) (Blanco *et al.* 1969: 153-157), Setefilla (Lora del Río, Sevilla) (Aubet *et al.* 1983: 79, fig. 30 n. 133), El Carambolo (Camas, Sevilla) (Hunt *et al.* 2010: 282), El Palomar (Oliva de Mérida, Badajoz) (Rovira Llorens *et al.* 2005: 1238) y Entre Águas 5 (Brinches, Serpa, Portugal) (Valério *et al.* 2009), entre otros.



Fig. 7.8. Tobera procedente del yacimiento de Las Camas (Villaverde, Madrid).

Dentro de los ejemplares conocidos, destaca el fragmento de Las Camas (Villaverde, Madrid; siglos IX-VIII a.C.) por presentar un desarrollo del cuerpo ligeramente cónico y por conservar el extremo de la boca con una perforación central en forma de embudo que corresponde a la conexión con el fuelle (Urbina *et al.* 2007: 75) (Fig. 7.8).

La embocadura de la tobera presenta una perforación cuyo diámetro es notablemente mayor (4-5 cm aproximadamente) que el de la salida de aire que mide alrededor de 2 cm. Este tipo de perforaciones no rectas, con estrechamiento del conducto a pocos centímetros de la embocadura, es del mismo tipo que se suele encontrar en las boquillas protectoras de los tubos de soplado. De hecho, es posible que este ejemplar corresponda a un fragmento de boquilla de soplado, pero su reducido tamaño no permite determinarlo con seguridad.

7.2.1b) Toberas corniformes

Este grupo se caracteriza por unas piezas de sección circular con marcada curva del cuerpo; el extremo de la boca de estas toberas –a diferencia de los ejemplares conocidos de este tipo procedentes de otros yacimientos contemporáneos, que presentan la boca convexa– es truncado y plano, y la curva del cuerpo empieza a desarrollarse casi directamente desde el extremo de salida de aire (Fig. 7.9).



Fig. 7.9. Una tobera corniforme (F41411) procedente de La Fonteta.

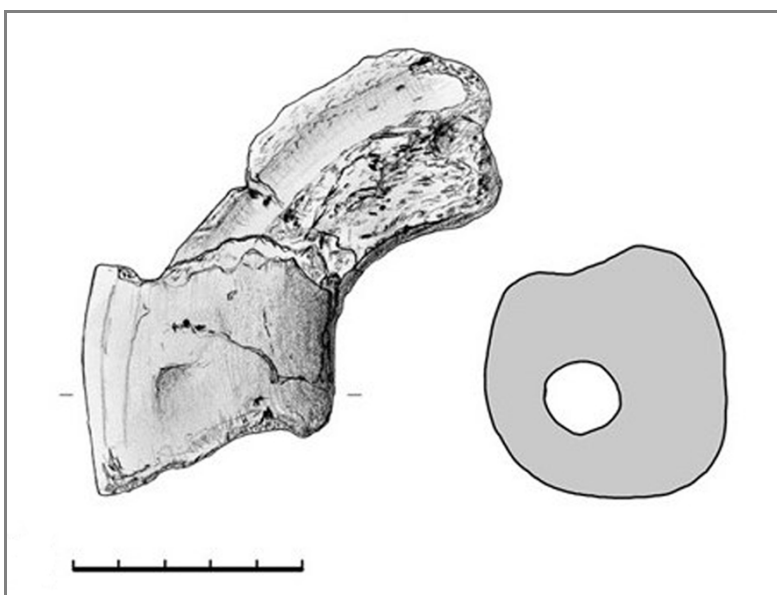


Fig. 7.10. Tobera corniforme F41411 procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.

El tamaño de estas toberas es variable, tanto en sección como en las perforaciones que, también en este caso, aparecen descentradas. El diámetro de la boca puede variar entre 3,5 y 7,5 cm, mientras que las perforaciones suelen medir alrededor de 1 cm, hasta llegar a un

máximo de 1,6 cm (Fig. 7.10); no se aprecia ningún estrechamiento en el desarrollo de estas toberas. La pasta cerámica empleada para fabricarlas es del tipo claro y presenta las mismas características descritas para las toberas cilíndricas.

Se han encontrado sólo tres fragmentos atribuibles claramente a esta tipología. El fragmento F41411 presenta la sección completa y todavía conserva el extremo de la boca que está enteramente recubierto por una capa de vidriado (Fig. 7.9). La sección es irregularmente circular y tiene 5 cm de diámetro con una perforación ligeramente descentrada que mide 1,5 cm.

El segundo ejemplar documentado (F41691) destaca por el tamaño significativo de su sección que está casi completa y mide alrededor de 7 cm de diámetro (Fig. 7.11a). El cuerpo de la tobera está muy fragmentado, pero se conserva el extremo de la boca que presenta un intenso vidriado y un pequeño nódulo de escoriación cobriza adherido. La sección es circular con una perforación central de apenas 1 cm.

El tercer fragmento (F62037) corresponde a media sección de una tobera de tamaño reducido con una sección que podría medir aproximadamente 4 cm; el diámetro de la perforación no es reconstruible (Fig. 7.11b). El fragmento conserva parte de la boca que muestra huellas de afectación térmica y restos de un material blanquecino adherido.

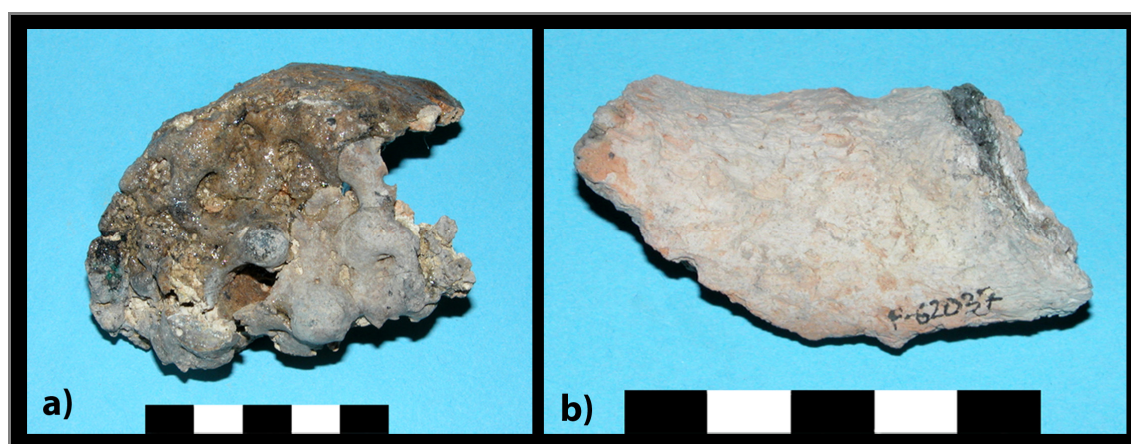


Fig. 7.11. Toberas corniformes procedentes de La Fonteta: a) F41691; b) F62037.

La identificación de las toberas corniformes puede ser problemática debido al tamaño, a menudo reducido, de los fragmentos encontrados o por su mal estado de conservación. Además, como en el caso de las toberas cilíndricas, la sección de estas piezas es de tendencia circular y, a falta de fragmentos suficientemente grandes para que se aprecie el arranque de la curva, la distinción entre toberas corniformes y cilíndricas resulta compleja. De hecho, los fragmentos encontrados en yacimientos antiguos de la

Península Ibérica e identificados claramente como pertenecientes a toberas corniformes son escasos.

Todos los ejemplares conocidos hasta la fecha proceden de yacimientos fenicios o de contextos de época fenicio-orientalizante. Hay una especial concentración de este tipo de tobera en la provincia de Huelva: varios fragmentos se han recogido en los niveles arcaicos de la ciudad de Huelva (siglos IX-VIII a.C.); numerosos ejemplares fueron encontrados en la Galería Protohistórica de Corta del Lago (Riotinto) (Pérez Macías 1996: 97-99); algunos proceden de Cerro Salomón (Blanco *et al.* 1969: 55), varios de Monte Romero (Almonaster La Real) (Kassianidou *et al.* 1995: 22), uno de San Bartolomé de Almonte (Ruiz Mata y Fernández Jurado 1986: 91, Lám. LII n. 681) y un pico de tobera corniforme de Tharsis (Alosno) (Pérez Macías 1996: 108). Otros ejemplares proceden de los niveles orientalizantes del ya mencionado yacimiento extremeño de El Palomar (Rovira Llorens *et al.* 2005: 1239) y otro del asentamiento fenicio de La Rebanadilla (Málaga).

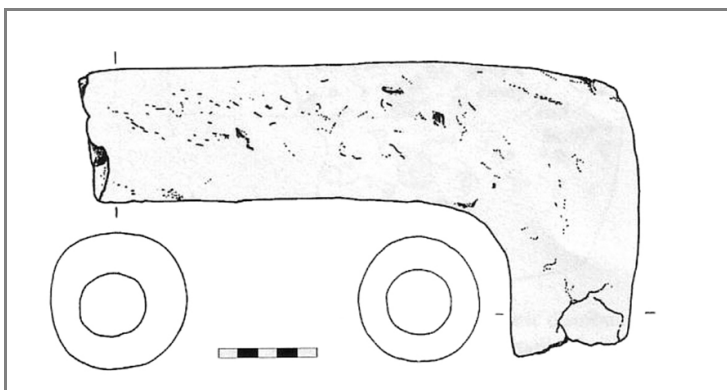


Fig. 7.12. Tobera de codo procedente del yacimiento chipriota de Politiko-Phorades, según Kassianidou y Knapp 2005. Bronce Final.

Una variante de este tipo de toberas está constituida por unos ejemplares de cuerpo acodado en ángulo recto que han sido documentados en varios yacimientos de Europa central y del Mediterráneo oriental, en especial en Chipre (Tylecote 1987:

118) (Fig. 7.12), pero hasta la fecha no se ha identificado ningún fragmento de tobera de codo en la Península Ibérica.

7.2.1c) Toberas de sección en D

Este grupo se caracteriza por unas piezas cuya sección es en forma de “D”, siendo la base de tendencia plana y el resto de la sección en forma de semicírculo (Fig. 7.13). La base plana podría haber permitido un mejor apoyo de la tobera sobre el suelo, asegurando mayor estabilidad al sistema de aireación.

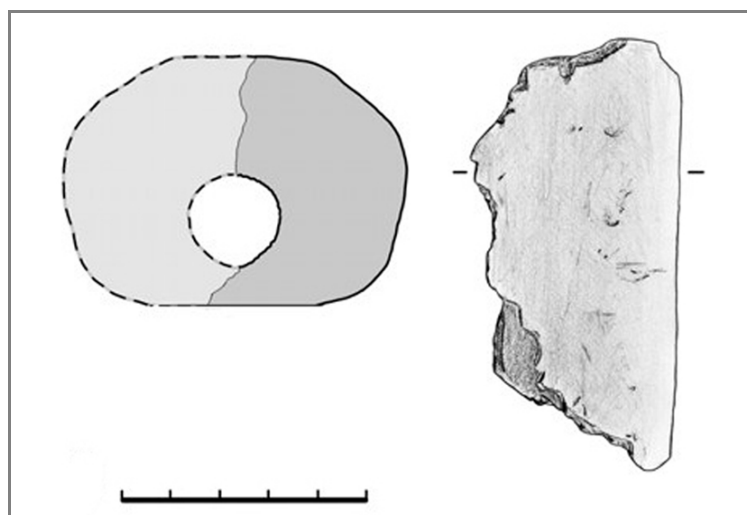


Fig. 7.13. Tobera F41747 de sección en D procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.

En el estado actual de la investigación, solamente tres fragmentos pueden ser incluidos con seguridad en este tipo. Su identificación presenta los mismos problemas encontrados para las toberas corniformes; por el estado fragmentado de los restos, si se conserva sólo una parte de la sección, se podrían confundir con toberas cilíndricas.

El primer ejemplar (F41323; Fig. 7.14a) presenta una sección irregularmente en forma de D, de tendencia elíptica con un lado plano; a pesar de estar fragmentada, ha permitido reconstruir casi enteramente su sección. La perforación también es elíptica, mide aproximadamente 1 cm y está descentrada hacia arriba. Esta tobera destaca por su dimensión bastante significativa, presentando un diámetro máximo de 6,5 cm y una longitud conservada de más de 15 cm.

El otro fragmento (F41379; Fig. 7.14b) también ha permitido reconstruir su sección, que mide alrededor de 6 cm de diámetro; presenta una perforación descentrada de forma ovalada, muy estrecha y de tamaño reducido (0,9 cm).

El último ejemplar (F41747; Fig. 7.13) corresponde a media sección y, como en el caso anterior, presenta un diámetro de aproximadamente 6 cm; la perforación es irregularmente circular y mide alrededor de 1,3 cm.

Ninguno de los tres fragmentos encontrados conserva el extremo de la boca y no presentan escoriaciones. Como para los dos tipos anteriormente descritos, la pasta cerámica es de color claro y está compuesta por arcilla depurada con presencia de desgrasantes vegetales.

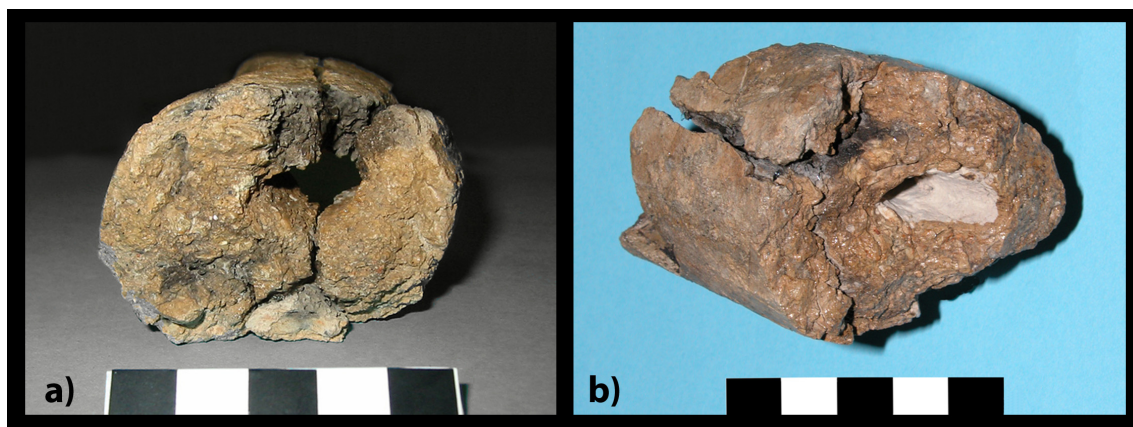


Fig. 7.14. Toberas de sección en D procedentes de La Fonteta: a) F41323; b) F41379.

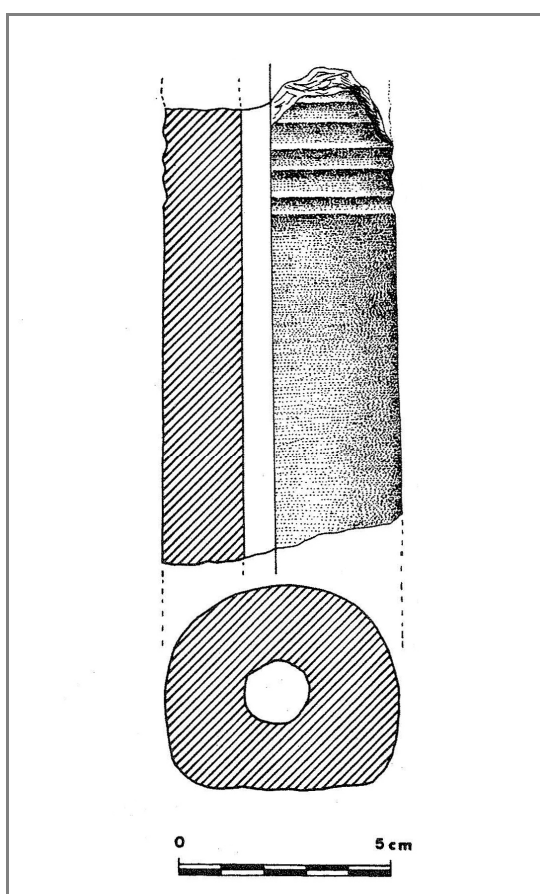


Fig. 7.15. Tobera de sección en D procedente de la Mesa de Setefilla (Lora del Río, Sevilla), según Aubet *et al.* 1983.

Este tipo de tobera parece ser casi del todo desconocido en la Península Ibérica; hasta la fecha, de acuerdo con el dibujo publicado por Aubet *et al.* (1983: 97, fig. 38), el único paralelo conocido procedería de los niveles orientalizantes de la Mesa de Setefilla (Lora del Río, Sevilla) (Fig. 7.15). Este ejemplar destaca por su calidad de acabado; presenta una superficie bruñida negra con una decoración formada por acanaladuras transversales en una zona probablemente central de la tobera aunque, al no haberse conservado los dos extremos, no se puede concretar la posición de la decoración en el desarrollo del cuerpo.

Toberas con sección en D han sido documentadas también en contextos extrapeninsulares; en particular, algunos ejemplares proceden de Chipre, como el de la Edad del Bronce Antiguo recogido en Ambelikou B (Tylecote 1987: 118). Por tanto, es

probable que se trate de nuevo de una tipología importada desde el mundo oriental y que actualmente se documenta en la Península Ibérica sólo a partir de época fenicia.

7.2.1d) Toberas prismáticas

Este tipo es fácilmente identificable por su típica sección cuadrangular o rectangular, aunque las paredes no siempre son rectas y los ángulos muy a menudo están redondeados. Todos los fragmentos encontrados presentan tamaño distinto y, como para los otros tipos, aquí también se ha constatado que las perforaciones tienen diámetro variable que generalmente están desplazadas respecto al plano central de la sección. Para la fabricación de estas toberas se emplearon indistintamente los dos tipos de pasta cerámica identificadas en el yacimiento.

Los ejemplares con sección completa nos han permitido diferenciar dos subtipos: uno de doble perforación (Fig. 7.16) y otro de perforación individual (Fig. 7.17). Sin embargo, dada la variabilidad del tamaño de la sección y el desplazamiento de las perforaciones, en varios casos no ha sido posible determinar si se trata de ejemplares de una o dos perforaciones y, por tanto, han sido denominados genéricamente toberas prismáticas, sin especificar su tipología.



Fig. 7.16. Toberas prismáticas de doble perforación procedentes de La Fonteta.

Se han clasificado como **toberas de doble perforación** las piezas que presentan una sección completa o reconstruible con parte conservada de una segunda perforación. Se han documentado distintos tamaños que varían entre 6 y 8 cm de anchura; las dos

perforaciones suelen estar descentradas y en planos distintos (Fig. 7.18a), además de presentar diámetros diferentes que oscilan entre 1 y 1,7 cm.

Algunos fragmentos relativamente completos han permitido definir el subtipo de **perforación individual** (Fig. 7.18b). La sección de estas toberas varía entre 4 y 5,5 cm; la perforación muy a menudo está descentrada y presenta diámetros con un rango de entre 1,3 y 1,6 cm.



Fig. 7.17. Toberas prismáticas de perforación individual procedentes de La Fonteta.

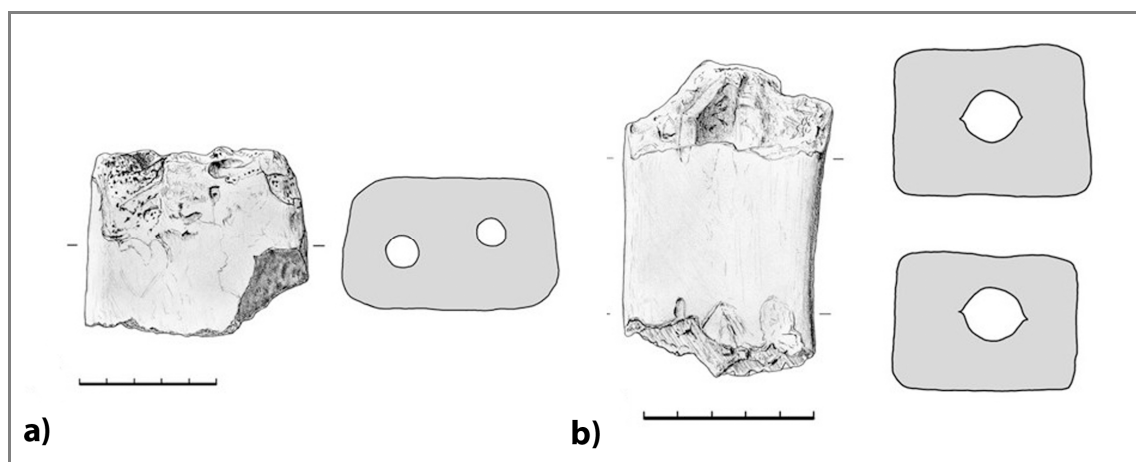


Fig. 7.18. Toberas prismáticas procedentes de La Fonteta: a) de doble perforación; b) de perforación individual. Dibujo realizado por Félix García Díez.

La mayoría de los ejemplares conocidos de toberas del tipo prismático de doble perforación se han encontrado en contextos fenicios, como nos documenta por ejemplo el yacimiento del Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga). En este poblado se registran fragmentos de toberas ya desde la fase más antigua atribuida al siglo VIII a.C., pero el

conjunto más significativo, constituido por una treintena de ejemplares, procede de los estratos fechados en el primer tercio del siglo VII a.C. (Rovira Hortalà 2005).

A la misma cronología (VIII-VII a.C.) pertenecen los fragmentos de toberas prismáticas de doble perforación recogidos en el Castillo de Doña Blanca en Cádiz (Ruiz Mata 1989: 232 y 237), en sa Caleta, Ibiza (Ramón Torres 2007), y en varios yacimientos fenicios de la provincia de Málaga: *Malaka* (Gran-Aymerich 1991); el Morro de Mezquitilla (Schubart 1985); el Cerro del Peñón (Keesmann *et al.* 1989) y Toscanos (Niemeyer 1982; Schubart y Maass Lindemann 1984), entre otros.

Algunos ejemplares proceden también de yacimientos indígenas; un fragmento de tobera prismática de doble perforación procede de los niveles orientalizantes del yacimiento de Cerro Salomón (Riotinto), en provincia de Huelva (Blanco *et al.* 1969: 153-157). Otros dos fragmentos, fechados en los siglos VIII-VII a.C., han sido recogidos en el Castellar de Librilla, en provincia de Murcia (Ros Sala 1993) o en el poblado excavado en el solar de la Plaza de San Pablo del casco urbano de la actual ciudad de Málaga (Fernández Rodríguez *et al.* 1997).

Otros ejemplares similares y atribuibles a la misma fase cronológica han sido encontrados también fuera de la Península Ibérica, como documentan los fragmentos procedentes de Mogador en Marruecos (Jodin 1966), de Lacco Ameno en la isla italiana de Ischia (Niemeyer 1982: 117), o los ejemplares de Cartago y los más tardíos de la colina de Byrsa en Túnez (Niemeyer 2001: 88-91).

El subtipo de perforación individual se encuentra menos representado, posiblemente también porque la mayoría de los fragmentos encontrados son ángulos que conservan sólo parte de una perforación. Actualmente en la Península Ibérica, aparte de los fragmentos de La Fonteta, son pocos los yacimientos en los que se han documentado piezas de este tipo.

Un ejemplar ha sido recogido en el Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga) (Schubart 1997: 45, lám. VI) y se menciona el hallazgo de algunos fragmentos también en *Abdera* (Adra, Almería) (Carpintero 2009: 131). Pero los conjuntos más numerosos de toberas de este tipo proceden de los niveles fenicios arcaicos de Huelva (siglos IX-VIII a.C.) (González de Canales *et al.* 2004: láminas XXXVII y LXIII) y de las recientes excavaciones del yacimiento fenicio de La Rebanadilla (s. IX a.C.) en Málaga (Sánchez Sánchez-Moreno *et al.* 2011).

Algunas de estas piezas tienen una peculiaridad que no se ha documentado en ningún otro yacimiento peninsular contemporáneo: se trata de toberas de perforación individual que presentan un estrechamiento en el extremo de conexión con el fuelle, con un rebaje pensado probablemente para poder atar con algún material perecedero el fuelle a la tobera. Además, como para las boquillas de soplado y algunos ejemplares de tobera –por ejemplo, el fragmento procedente de Las Camas (Villaverde, Madrid) (Urbina *et al.* 2007) y el de Peñalosa (Baños de La Encina, Jaén) (Moreno Onorato 2000: 184)– la perforación central es en forma de embudo, es decir, el diámetro del orificio en el que se introduce el tubo de insuflación es mayor (unos 3 cm) con respecto al de salida de aire (de aproximadamente 1-1,5 cm), estrechándose a unos 2 cm de la embocadura en la que se introduce el fuelle.

En La Rebanadilla se han encontrado algunos ejemplares completos (Fig. 7.19) que presentan una longitud de 14-15 cm y una anchura de 6 cm.²



Fig. 7.19. Toberas prismáticas de perforación individual procedentes de La Rebanadilla (Málaga). Foto cortesía de Arqueoestudio.

Un fragmento de tobera prismática de perforación individual ha sido encontrado también en un yacimiento indígena de Cataluña, El Calvari del Molar (Priorat) en provincia de Tarragona, y está fechado en el siglo VII a.C. (Armada *et al.* 2005).

A los ejemplares anteriormente mencionados, habría que añadir un fragmento procedente de los estratos de la primera Edad del Hierro del yacimiento indígena de Can

² Agradezco a Vicente M. Sánchez y Lorenzo Galindo de Arqueoestudio, directores de las excavaciones de La Rebanadilla, la posibilidad de utilizar estos datos.

Roqueta (Sabadell, Barcelona). Esta pieza tiene la peculiaridad de presentar una doble perforación en el extremo de la boca, que se va conformando en Y en el interior de la pieza desembocando en un único orificio (Carlús *et al.* 1999: 175-176). Esta característica morfológica se ha documentado también en un ejemplar procedente del Cerro del Peñón (Vélez, Málaga) (Keesmann *et al.* 1989: fig. 3), y en algunos ejemplares más tardíos (IV-III a.C.) hallados en Byrsa, Cartago (Lancel 1979) (Fig. 7.20).

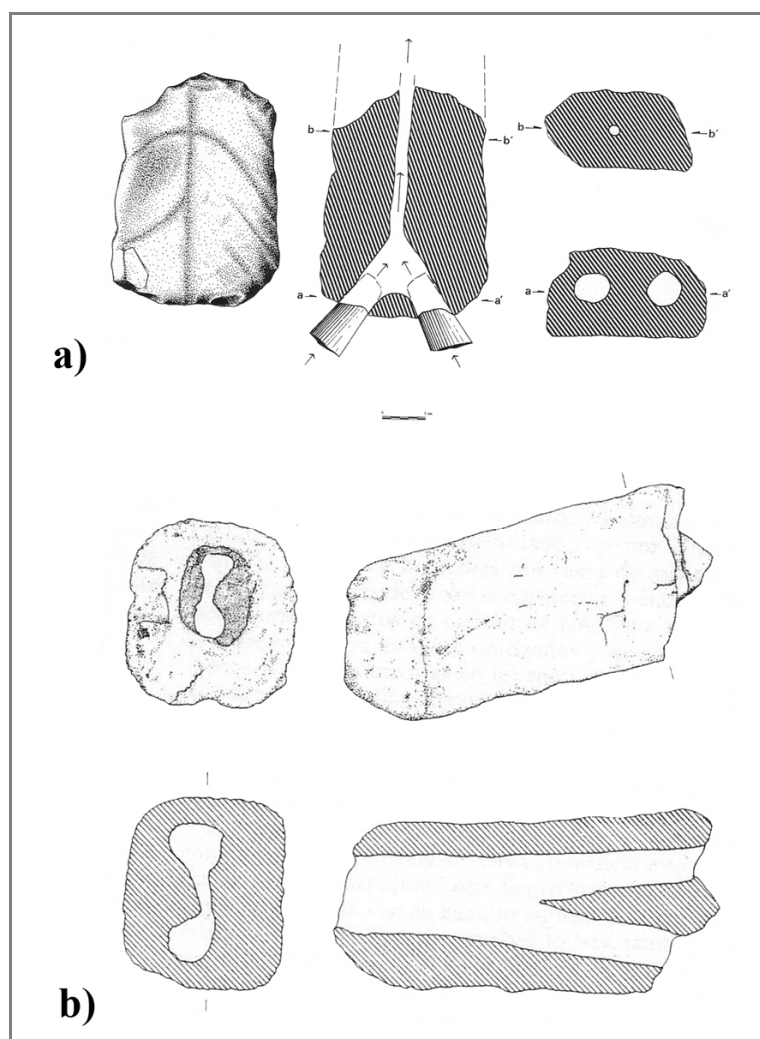


Fig. 7.20. Toberas prismáticas con perforación en Y procedentes de a) Can Roqueta (Sabadell, Barcelona), según Carlús *et al.* 1999 y b) Cerro del Peñón (Vélez, Málaga), según Keesmann *et al.* 1989.

Finalmente, hay que destacar la importante novedad supuesta por el cambio que se produce en la sección de las toberas. Si en todos los ejemplares más antiguos conocidos, del Calcolítico y de la Edad del Bronce –no sólo en España sino en toda Europa y el Mediterráneo– la sección es siempre circular, en una fase avanzada del Bronce Final se registra la aparición de toberas con secciones cuadrangulares o rectangulares,

conviviendo con las de sección circular. Este nuevo tipo de sección parece sugerir un cambio en el modo de insertar la tobera en la estructura de combustión y, por ello, hay que sumarlo a otros datos que nos revelan un cambio en la tecnología de horno a partir de este momento cronológico relacionado con la colonización fenicia en la Península Ibérica. De hecho, la aparición de las toberas con sección prismática, tanto de doble perforación como de perforación individual, parece coincidir con la llegada de los colonos, siendo un tipo del todo desconocido en épocas anteriores. Pero, en este sentido, destaca la total ausencia hasta la fecha de hallazgos de toberas prismáticas de doble perforación en el mundo fenicio de la madre patria, o en yacimientos de Próximo y Medio Oriente en general. Aunque las toberas de sección prismática sean hallazgos habituales, todos los fragmentos actualmente documentados corresponden al tipo de perforación individual, como por ejemplo los numerosos fragmentos procedentes de Tel Beth-Shemesh en Jordania y de Tell Hammeh en Israel (Veldhuijzen y Rehren 2007). Se podría por tanto proponer que las toberas prismáticas de doble perforación son una variante “occidental” o un tipo evolucionado de las toberas de una sola perforación documentadas en el mundo oriental. El hallazgo de numerosos ejemplares de perforación individual en los niveles más antiguos de algunos de los yacimientos fenicios peninsulares podría en parte confirmar esta hipótesis, aunque los dos tipos sin duda conviven por lo menos hasta el siglo VII-VI a.C., de acuerdo con el hallazgo de El Calvari del Molar.

Y también mencionar brevemente cuál podría ser la razón de la introducción del subtipo de doble perforación. Tradicionalmente (Tylecote 1987: 118-120), se ha supuesto que este tipo de toberas funcionarían con dos fuelles, uno para cada perforación y que los fuelles, empleados de manera alternada, permitirían mantener un flujo continuo y constante de aire evitando las oscilaciones de la temperatura cuando la tobera deja de soplar, que puede bajar en pocos segundos más de 100°C. Sin embargo, la proximidad de las dos perforaciones podría dificultar el acoplamiento de la salida de aire de cada fuelle, aunque el desplazamiento en planos distintos de las dos perforaciones respecto al centro de la tobera, probablemente en parte podría haber solucionado este problema. Además, como se ha mencionado antes, ya se conocían los acoplamientos en Y pensados precisamente para conectar dos fuelles a una tobera; se podría, por tanto, pensar que las toberas de doble perforación paralela sirvieran para proporcionar un mejor reparto del caudal de oxígeno en una corriente más ancha, lo que mejoraría y quizás ampliaría el tamaño del núcleo del horno (Renzi 2007).

7.2.1e) Las boquillas de soplado



Fig. 7.21. Boquilla de soplado procedente de La Fonteta (F41637).

En La Fonteta (F41637) se ha identificado sólo un ejemplar clasificado como boquilla de soplado. Conserva poco más de media sección, con una anchura de 3,4 cm y una longitud de 5,7 cm en su parte conservada (Fig. 7.21). La sección es irregularmente cuadrangular con 3,2 cm de lado y los ángulos redondeados; presenta una perforación central en forma de embudo con un diámetro de 1 cm en el extremo de la boca y de 0,7 cm en la zona de estrechamiento, que se encuentra a unos 1,8 cm de la embocadura; no presenta signos de afectación térmica y fue fabricada con arcilla clara y desgrasantes vegetales.

Piezas parecidas proceden de los niveles antiguos (siglo IX a.C.) del asentamiento de Huelva (González de Canales *et al.* 2004: 147-148) y también presentan sección cuadrangular y perforación en forma de embudo (Fig. 7.22).

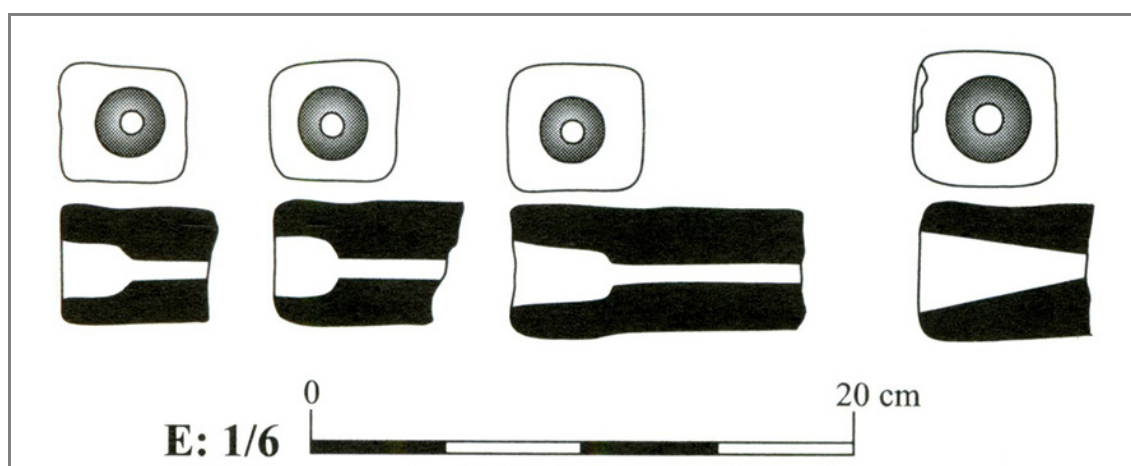


Fig. 7.22. Boquillas de soplado procedentes del asentamiento fenicio de Huelva, según González de Canales *et al.* 2004.

7.2.2 Distribución por fases

En el conjunto estudiado, el mayor número de fragmentos de toberas pertenece a las fases más antiguas, habiéndose documentado un registro significativo ya en la primera fase de ocupación de La Fonteta (fase I: primera mitad del siglo VIII-720 a.C. aprox.), con un aumento notable de hallazgos en la fase II (720-670 a.C.). A partir de la fase III (670-635 a.C.), se nota un fuerte descenso de los hallazgos para llegar a la última fase, la fase IV (635-hasta finales del siglo VII a.C.), a la que pertenecen sólo tres fragmentos.

La significativa diferencia en el número de ejemplares de toberas atribuibles a las distintas fases de ocupación del yacimiento no debe interpretarse necesariamente como el reflejo de una drástica reducción de las actividades metalúrgicas en La Fonteta. La distribución cronológica y espacial de estos hallazgos podría responder únicamente a las características de los cortes excavados, que corresponden a una zona bastante reducida en relación con la posible extensión total del yacimiento. Además, la distribución de los materiales depende de la funcionalidad de los ambientes que fueron cambiando con el tiempo, produciéndose remodelaciones del espacio. Como ya se ha mencionado en el capítulo dedicado al estudio del yacimiento (Cap. 2), no se puede excluir que la zona de talleres metalúrgicos en la fase reciente se trasladara a otra área del poblado todavía sin identificar.

Como se puede apreciar en la Tabla 7.1, la frecuencia de los materiales por fases cambia en cada corte. Así, el Corte 14 refleja una actividad metalúrgica más o menos intensa en la fase II con una reducción de las evidencias en la fase III, para llegar a una casi total inactividad metalúrgica de la zona en las fases posteriores.

	Corte 25	Corte 14	Corte 54-1	Corte 5N	Corte 7	Corte 8	Tot.
FASE I	0	0	66	0	0	0	66
FASE II	1	54	196	78	2	0	331
FASE III	0	18	0	0	3	1	22
FASE IV	0	0	0	0	0	3	3
Tot.	1	72	262	78	5	4	422

Tabla 7.1. Distribución por fases y cortes de los fragmentos de toberas de La Fonteta.

El registro de toberas del Corte 5 documenta, como en el caso del Corte 14, una intensa actividad de producción metalúrgica durante la fase II. El número de fragmentos recogidos alcanza los setenta y ocho y completa un significativo conjunto de materiales

arqueometalúrgicos de distinto tipo. También en este corte, las fases más tardías presentan un relevante descenso de los testimonios de estas actividades y no han proporcionado ningún fragmento de tobera.

Por lo que concierne a los Cortes 7 y 8, el número de hallazgos de toberas es muy escaso, siendo en el primer caso de cinco fragmentos –fechados entre las fases II y III– y en el segundo de cuatro fragmentos que corresponden a las fases III y IV.

El conjunto más representativo y variado de toberas procede de los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1. Aquí se documenta una intensa actividad metalúrgica durante la fase I, con un notable incremento de la producción durante la fase II, que se interrumpe del todo en las fases sucesivas, cuando la construcción de la muralla amortiza esta zona de actividad metalúrgica.

La fase III parece, por tanto, haber sido una fase de transición en la que se asiste a un claro cambio en la función de la mayoría de los ambientes excavados, abandonándose algunos y reduciéndose las evidencias de la producción de metales en otros. Pero, en el estado actual de la investigación arqueológica en el yacimiento, no se puede afirmar si este cambio es debido a una reducción gradual de la entidad de las actividades metalúrgicas o si la escasez de hallazgos pertenecientes a las fases más tardías depende de un eventual traslado de la zona de talleres a otra área del poblado.

La relación entre las diferentes tipologías de toberas y su distribución en las varias fases cronológicas (Tabla 7.2), no proporciona ninguna información adicional, limitándose a confirmar una actividad metalúrgica relativamente intensa en la fase habitacional más antigua, un incremento de la producción a finales del siglo VIII a.C., reflejada por la mayor concentración de fragmentos de la fase II y una progresiva desaparición de las evidencias a lo largo de las fases sucesivas.

FASES	P	CIL	COR	D	INDET
I	16	31	0	1	18
II	76	70	3	2	179
III	9	3	0	0	11
IV	0	0	0	0	3

Tabla 7.2. Frecuencia de tipos de toberas por fases en el yacimiento de La Fonteta (P = prismática; CIL = Cilíndrica; COR = Corniforme; D = Tipo en D; INDET = Indeterminado).

7.3 FUNCIONALIDAD DE LAS TOBERAS

7.3.1 Estudio analítico de las toberas de La Fonteta

Algunas de las toberas encontradas en La Fonteta conservan su boca vitrificada en la que, a veces, se aprecia una capa de escoriación o restos metálicos adheridos. En los casos en los que la parte escoriada presentaba grosor suficiente, se han realizado análisis mediante espectrometría por fluorescencia de rayos X y se ha extraído muestras para su observación y microanálisis en el microscopio electrónico de barrido.

Por ED-XRF se han analizado 7 muestras, correspondientes a dos fragmentos de toberas cilíndricas, dos de toberas corniformes y tres fragmentos de sección prismática de doble perforación. Por SEM-EDX, se han analizado 6 muestras –que en cinco casos coinciden con las que han sido examinadas por ED-XRF– extraídas de las zonas escoriadas o vidriadas de las toberas, incluyendo dos fragmentos de toberas prismáticas de doble perforación, dos de toberas cilíndricas y dos fragmentos del tipo corniforme.

En el grupo de toberas prismáticas de una sola perforación y en las de sección en D no se ha encontrado ningún ejemplar que presentase escoriación o restos metálicos adheridos para poder efectuar análisis y averiguar a que tipo de metalurgia se vinculan.

Los resultados analíticos de las muestras analizadas por SEM-EDX se presentan en fichas individuales en el Anexo a esta Tesis.

7.3.1a) Análisis por ED-XRF

En el caso de las toberas cilíndricas, la muestra F62056 (PA12733) conserva el extremo de la boca con zonas de vidriado y una escoriación superficial. Se han realizado análisis en varios puntos de la misma pieza detectando la presencia mayoritaria de cobre con escasas impurezas de estaño, plomo y plata (Tabla 7.3). Se trataría de una tobera empleada en la producción de cobre.

La segunda tobera cilíndrica analizada F41551 (PA12128) presenta una escoriación cobriza en el extremo de la boca y un nódulo de material escoriáceo adherido. Los resultados obtenidos muestran contenidos elevados de cobre, estaño y plomo, sugiriendo que se trata de una tobera usada en procesos para la producción de un bronce ternario con un contenido elevado de plomo.

Los dos fragmentos seleccionados de toberas corniformes (F41691 y F41411) también presentan restos de escoriación adherida. En ambos casos se ha detectado la

presencia de plomo, cobre y estaño; por tanto, como para el tipo cilíndrico, los resultados analíticos de estas toberas sugieren su vinculación a la metalurgia de base cobre. Probablemente fueron utilizadas para la fundición o refundición de bronce ternarios con plomo y/o de cobres con plomo; éste podría ser el caso del fragmento F41411 (PA12734) en el que destaca la elevada cantidad de plomo detectada y el bajo contenido de estaño que ronda el 1% Sn y podría corresponder a impurezas del mineral de cobre o del metal empleados (Tabla 7.3).

Análisis	Muestra	Tipo	Fe	Cu	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA12128	F41551	CIL	0,32	10,82	tr	nd	3,72	0,026	48,5
PA12733a	F62056	CIL	0,14	7,68	nd	tr	0,84	nd	0,86
PA12733b	F62056	CIL	0,40	15,6	nd	tr	0,82	nd	0,79
PA12733c	F62056	CIL	0,23	3,44	nd	nd	0,82	nd	0,72
PA12732	F41691	COR	1,05	1,73	1,38	nd	2,15	0,03	4,92
PA12734	F41411	COR	0,31	1,60	tr	tr	1,08	nd	48,85

Tabla 7.3. Resultados ED-XRF (% en peso) de la composición de las escoriaciones de las toberas cilíndricas (CIL) y corniformes (COR) procedentes de La Fonteta (nd: no detectado; tr: elemento detectado a nivel de trazas no valorables). Resultados sin normalizar al 100%.

Pasando al análisis de las toberas prismáticas de doble perforación, las tres piezas estudiadas con signos de vidriado o de escoriación no han permitido precisar su asociación con la producción de ningún metal en concreto. Los extremos de la boca presentaban una capa de vidriado demasiado fina cuya composición elemental principal corresponde a la de una arcilla rica en hierro, sin proporcionar ningún dato adicional.

Como se puede apreciar en la Tabla 7.4, el análisis de la muestra F41455 (PA12867a) corresponde a una zona que presentaba un vidriado más grueso y, si se compara su composición con el análisis de la pasta cerámica de la misma pieza (PA12867b), se observa un mayor porcentaje de hierro en la vitrificación, probablemente debido a la concentración de este elemento que se produce por el efecto de vidriado.

Análisis	Muestra	Tipo	Fe	Ni	Cu	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA12823	F41399	P2	0,46	0,12	0,37	0,23	0,01	0,01	0,005	0,37
PA12867a	F41455	P2	1,25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PA12867b	F41455	P2	4,28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PA12868	F41662	P2	1,41	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Tabla 7.4. Resultados ED-XRF (% en peso) de la composición de tres fragmentos vitrificados de toberas de doble perforación procedentes de La Fonteta (nd: no detectado). Resultados sin normalizar al 100%.

También para la muestra F41662 (PA12868), donde la capa de vidriado era menos evidente, el contenido en hierro es coherente con la composición férrica de la pasta cerámica. Sólo en el caso del fragmento F41399 (PA12823) se ha detectado una composición más compleja con trazas de hierro, níquel, cobre, arsénico, plata, antimonio y plomo (Tabla 7.4).

7.3.1b) Análisis por SEM-EDX

El análisis del fragmento de tobera cilíndrica F41551 (con número de análisis ED-XRF PA12128) ha confirmado su vinculación con la producción de un bronce ternario altamente plomado.

La muestra está formada por abundantes cristales de casiterita (SnO_2), zonas con segregados de plomo, y distintos productos de oxidación y corrosión de cobre y de plomo (Fig. 7.23). No se ha detectado la formación de aleaciones de bronce o de cobre-plomo; además, el elevado contenido de estaño presente sólo en forma de casiterita, las amplias zonas de óxido de cobre y la abundante presencia de plomo metálico sugieren que esta tobera fue empleada en un proceso de obtención de bronce ternario mediante co-reducción de minerales mixtos de cobre-plomo con casiterita, aunque no hay evidencias suficientes para excluir la posibilidad de que se trate de un proceso de cementación de cobre plomado con casiterita.

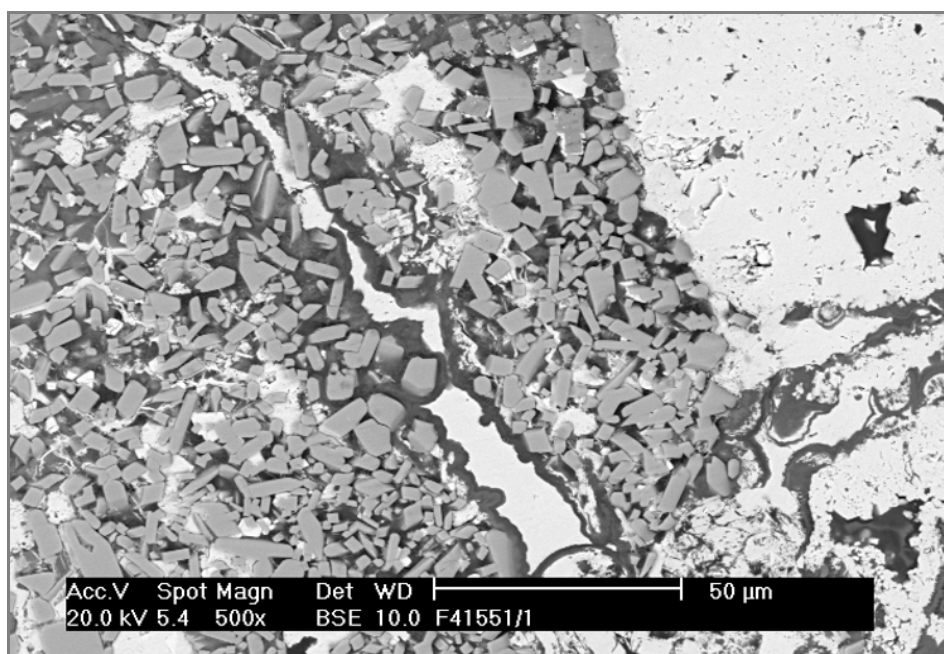


Fig. 7.23. F41551. Se aprecian abundantes cristales de casiterita en una matriz de cobre y amplias zonas blancas de plomo. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Como ya se ha visto en el capítulo correspondiente al estudio de la metalurgia de base cobre (Cap. 4) y como se verá también más adelante para las escorificaciones en vasijas de reducción (Cap. 8), ambas técnicas han sido documentadas en varias muestras procedentes de La Fonteta y de otros yacimientos de la época (Rovira Llorens 2007).

Los resultados analíticos de la muestra extraída del fragmento de tobera cilíndrica F62056 (con número de análisis ED-XRF PA12733) indican que ésta fue utilizada en una operación de producción de cobre. La muestra está compuesta por un material fundido del tipo de la melilita con islotes de silicatos de cobre; se observa la presencia de amplias zonas metálicas (Fig. 7.24). Estas inclusiones, que se han oxidado parcialmente debido a los tiempos de deposición de la pieza, presentan un elevado contenido en hierro e indican que podría estar relacionada con actividades de obtención de cobre a partir de sus minerales. En las posteriores operaciones de afino de metal, la cantidad total de hierro presente en el cobre se iría perdiendo hasta alcanzar cantidades muy bajas (a nivel de impureza), como demuestran los resultados analíticos de la mayoría de los objetos de base cobre procedentes de La Fonteta (véase el Cap. 10).

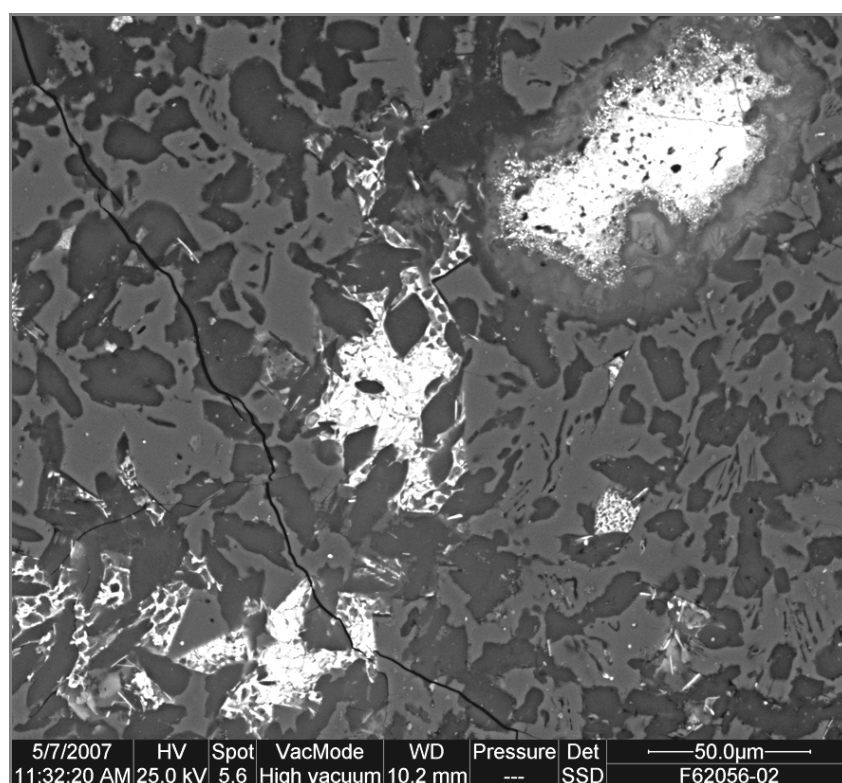


Fig. 7.24. F62056. Microestructura de la muestra; se aprecia la abundante presencia de fases metálicas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Pasando a las toberas de tipo corniforme, el estudio de la escorificación adherida a la boca de la tobera F41411 (con número de análisis ED-XRF PA12734) muestra una microestructura bastante homogénea en la que se aprecian numerosas inclusiones metálicas de cobre (Fig. 7.25). La matriz corresponde a un material fundido con cantidades apreciables de cobre y plomo; y se han formado cristales de un silicato complejo rico en calcio, del tipo de la alumoakermanita. También se han detectado algunas zonas metálicas compuestas sólo por plomo en las que se observan segregados de cobre.

Esta tobera fue empleada en operaciones para la producción de cobre plomado, posiblemente utilizando minerales mixtos cobre-plomo, o en alguna fase del proceso metalúrgico para la extracción de plata a partir de minerales cuproargentíferos, como se ha sugerido en el capítulo dedicado a la metalurgia de la plata (Cap. 6).

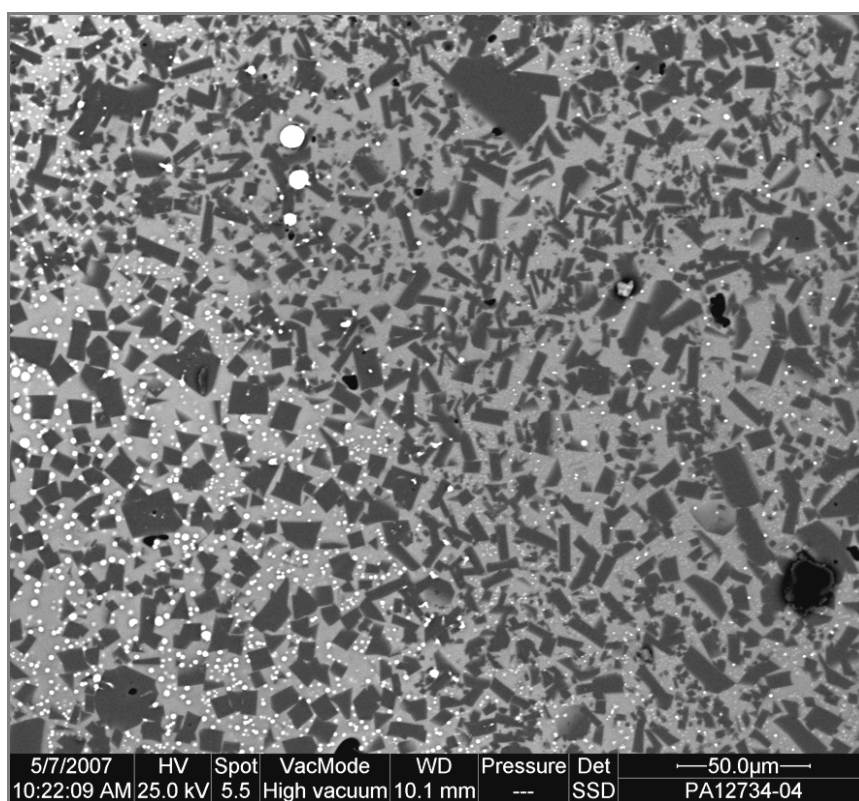


Fig. 7.25. F41411. Matriz de la muestra en la que se aprecia la abundante presencia de inclusiones metálicas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

El segundo fragmento de tobera corniforme, F41691 (con número de análisis ED-XRF PA12732), también presenta una microestructura bastante homogénea. La matriz está constituida por cristales cuya composición se aproxima a la de la melilita, y se observa la presencia de un material intersticial formado por dos distintas fases, una

correspondiente a un fosfato complejo de plomo con algo de cobre y otra minoritaria constituida por un silicato complejo de potasio y hierro con abundante estaño (Fig. 7.26).

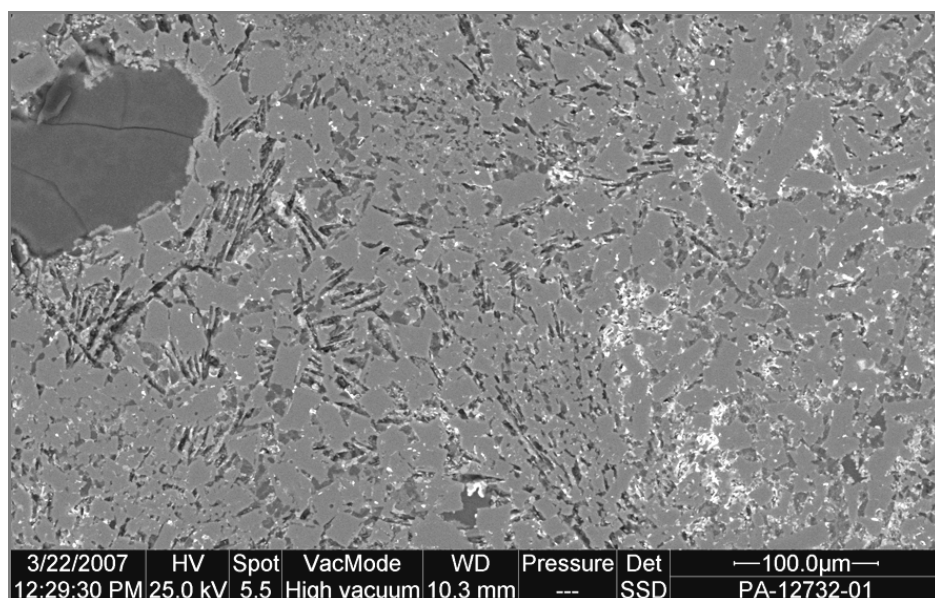


Fig. 7.26. F41691. Matriz de la muestra en la que se aprecia la presencia de un material intersticial complejo. Explicación en el texto. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En la zona externa de la muestra se observa la presencia de una costra blanquecina de composición compleja (Fig. 7.27) en la que se ha detectado abundante cobre, plomo y estaño con un contenido apreciable de arsénico (aprox. 5,5% As).

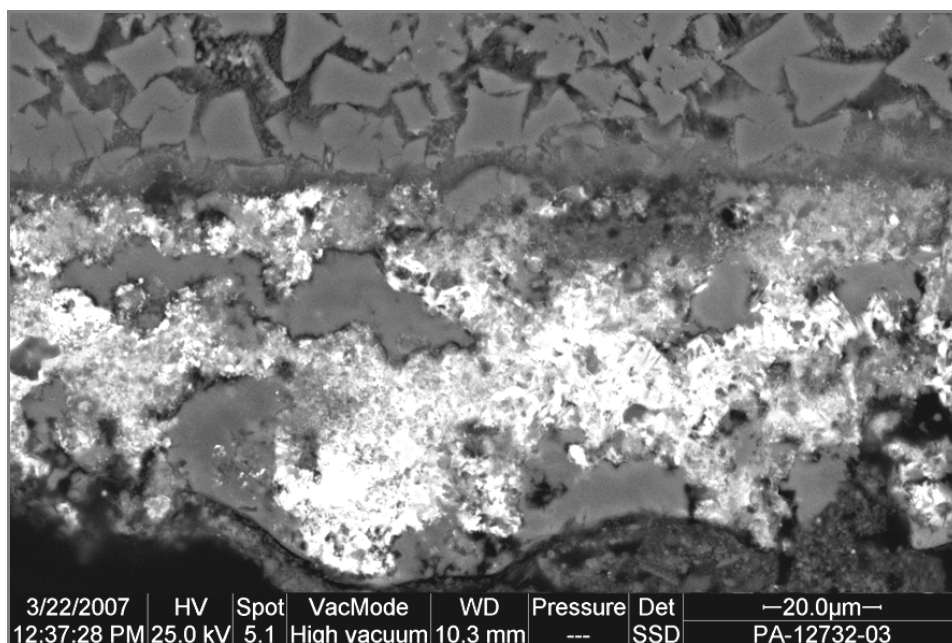


Fig. 7.27. F41691. Costra de composición compleja. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La composición de esta zona es similar a la que se ha detectado en algunas de las escorias de cobre analizadas (véase el Cap. 4) y, junto con las fases constituyentes de la escorificación (el fosfato complejo de plomo y el silicato mixto con mucho estaño), sugieren que esta tobera fue empleada en el procesamiento de algún tipo de mineral mixto de cobre-plomo, rico en estaño y arsénico.

De las toberas de doble perforación seleccionadas, el análisis del fragmento F41399 –cuyo estudio por ED-XRF (PA12823) había mostrado la presencia a nivel de traza de elementos como cobre, arsénico, níquel, plomo, etc.– no ha proporcionado información significativa que pudiera confirmar su posible uso en la metalurgia de base cobre; los resultados obtenidos son coherentes con la composición de una pasta cerámica vidriada rica en calcio (Tabla 7.5).

La capa de vitrificación de esta tobera era demasiado fina para poder extraer una porción de muestra suficiente para profundizar en el estudio de su composición y microestructura. Sin embargo, la existencia de escorias metalúrgicas en las que ha sido detectada la presencia de inclusiones metálicas de composición compleja, que incluye los elementos arriba mencionados, proporciona otro elemento a favor de la posibilidad de que se estuvieran explotando minerales de cobre de tipo complejo.

En la muestra extraída de la tobera F41400 tampoco se han detectado elementos que pudieran proporcionar información sobre el tipo de operaciones metalúrgicas en las que fue utilizada. De nuevo se trata sólo de una capa de vidriado superficial cuya composición corresponde a la de una arcilla rica en calcio y hierro (Tabla 7.5).

Muestra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO
F41399	1,78	4,3	12,91	49,01	0,91	26,24	4,86
F41400	nd	2,65	11,66	41,65	2,05	36,53	5,45

Tabla 7.5. Análisis SEM-EDX de la composición de la zona de vidriado de dos toberas de doble perforación. Resultados expresados como óxidos (% en peso; nd: no detectado).

7.3.2 Las toberas en otros contextos

Numerosos yacimientos contemporáneos de La Fonteta han proporcionado fragmentos de toberas pero son escasos los trabajos dedicados a su estudio, tanto desde un punto de vista analítico como morfológico y funcional.

Sin querer ser exhaustivos, algunas toberas proceden del área de habitación del yacimiento indígena de La Mesa de Setefilla (Lora del Río, Sevilla), de los niveles fechados en los siglos IX-VIII a.C. y de los niveles orientalizantes (Aubert *et al.* 1983). El fragmento más completo es la ya mencionada tobera cilíndrica de paredes paralelas (Fig. 7.15), similar al ejemplar de La Fonteta (F21117; Fig. 7.6). La presencia *in situ* de escorias y nódulos de mineral de cobre asociados a estas toberas podrían sugerir su vinculación con la producción de cobre o bronce, pero no se han efectuado análisis de laboratorio de las escorificaciones que puedan apoyar esta hipótesis.

Fragmentos de toberas cilíndricas han sido recogidos también en el yacimiento de El Carambolo (Camas, Sevilla) y la mayoría de estos ejemplares corresponden a bocas escorificadas o vidriadas. Recientemente Hunt *et al.* (2010: 282-283) han realizado un estudio analítico de algunos de los fragmentos encontrados, en concreto se analizaron 6 muestras por ED-XRF y uno de ellos fue estudiado también por SEM-EDX. Los resultados obtenidos las relacionan a todas con una metalurgia de base cobre, principalmente con la producción de bronce binarios y ternarios.

Otros datos proceden del yacimiento de Cerro Salomón (Riotinto), en la provincia de Huelva (Blanco *et al.* 1969: 153-157). Aquí, en el interior de algunas viviendas se han encontrado fragmentos de toberas junto con otros restos minero-metalúrgicos. Estas toberas corresponden principalmente al tipo corniforme y cilíndrico, aunque no se puede excluir la posibilidad de que, siendo los fragmentos de tamaño insuficiente para reconstruir la forma original y a falta del extremo de la boca, se tratara también en estos casos de toberas corniformes; se ha encontrado además un ejemplar de tipo prismático de doble perforación, y todas estas toberas estaban asociadas a fragmentos de mineral argentífero y escorias que, según resultó por los análisis efectuados, se relacionan con la producción de plata (Blanco *et al.* 1970).

Asimismo, los niveles arcaicos de Huelva han proporcionado abundantes evidencias de metalurgia de base cobre, plomo-plata y hierro, asociadas a numerosos fragmentos de toberas prismáticas, toberas corniformes y de varias toberas que han sido clasificadas genéricamente como cilíndricas (González de Canales *et al.* 2004: 147).

También el yacimiento de Monte Romero (Almonaster la Real, Huelva) nos documenta una situación similar (Kassianidou *et al.* 1995), con hallazgos de toberas corniformes y cilíndricas asociados a restos de distintas actividades metalúrgicas, principalmente de producción de plomo-plata y en menor medida de cobre, bronce y hierro.

Relacionado con la metalurgia del plomo y con la fundición de metales de base cobre tenemos el ya mencionado fragmento de tobera prismática de perforación individual encontrado en el yacimiento indígena de El Calvari del Molar (Priorat, Tarragona) (Armada *et al.* 2005).

Como se ha visto antes, también otro yacimiento indígena, Can Roqueta (Sabadell, Barcelona), ha proporcionado una tobera prismática, en este caso con acoplamiento en Y, asociada a evidencias de producción y reciclaje de metales de base cobre (Carlús *et al.* 1999: 175-176).

Igualmente, en el yacimiento orientalizador de El Palomar (Oliva de Mérida, Badajoz), en asociación con restos metálicos, chatarra y moldes, se han recogido varios restos de toberas de sección circular –entre los cuales algunos son claramente identificables como toberas corniformes (Rovira Llorens *et al.* 2005)– que parecen sugerir que podría tratarse de operaciones para la refundición de metal.

Con respecto a los ejemplares de toberas prismáticas de doble perforación procedentes de los yacimientos fenicios de la provincia de Málaga, éstos han aparecido principalmente en contextos de metalurgia de hierro.

En el Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga), estas piezas están siempre asociadas a capas con mucho carbón, escorias férricas y microresiduos resultantes de las operaciones de forja del hierro (Rovira Hortalà 2005). Igualmente, los fragmentos procedentes de Toscanos (Niemeyer 1982) y del Morro de Mezquitilla (Schubart 1985) están asociados a restos de operaciones de producción de hierro, aunque también se hayan documentado, en menor medida, evidencias de metalurgia de base cobre.

Por último, los ejemplares documentados en *Abdera* (Adra, Almería), que corresponden tanto al tipo de doble perforación como al de perforación individual, parecen relacionarse a la producción de hierro y de plomo (Carpintero 2009: 131-132), aunque los materiales metalúrgicos procedentes de este yacimiento están todavía en proceso de estudio y los datos actualmente disponibles no permiten confirmar esta información.

7.3.4 Discusión

Los trabajos especializados sobre toberas realizados hasta la fecha son todavía muy escasos y, en general, no proporcionan información significativa para determinar si existe una relación directa entre forma y funcionalidad de las toberas. Por tanto, en el

estado actual de la investigación, no se puede argumentar una clara diferenciación funcional de los distintos tipos de toberas.

Las toberas de sección prismática frecuentemente se han puesto en relación con la producción y sobre todo con la forja del hierro, principalmente por los hallazgos realizados en varios yacimientos fenicios de la provincia de Málaga que han proporcionado abundantes evidencias de tareas siderúrgicas (Niemeyer 1982; Rovira Hortalà 2005). Sin embargo, esta idea, concebida a partir de un número reducido de hallazgos y a falta de un estudio de conjunto de las toberas en relación con sus contextos metalúrgicos de origen, debe ser matizada a la luz de los datos actualmente disponibles. De hecho, aunque en la mayoría de los casos este tipo de tobera ha sido recogido en contextos relacionados con la producción de hierro, no se puede asociar exclusivamente con la elaboración de este metal, ya que en los mismos yacimientos también se han encontrado evidencias, aunque minoritarias, de producción de metales de base cobre –como por ejemplo en el yacimiento excavado en la Plaza de San Pablo de Málaga, en el Morro de Mezquitilla o en Toscanos– o restos de metalurgia de plomo-plata, como en el Castillo de Doña Blanca en Cádiz (Ruiz Mata 1989) y en sa Caleta en Ibiza (Ramón Torres 2007). También en el caso de las toberas de La Rebanadilla, hay evidencia de distintas operaciones metalúrgicas, tanto para la producción y fundición de cobre y bronce, como de plomo y hierro. No se puede afirmar por tanto que se trate de una tipología vinculada exclusivamente a la metalurgia del hierro, aunque predomine en esos contextos de producción.

Dentro de esta falta de datos para aclarar si un cierto tipo de tobera puede definir su función, las toberas corniformes constituyen una excepción ya que, en casi todos los casos documentados, proceden de contextos minero-metalúrgicos relacionados con la obtención de plata. Pero, además de las evidencias que las asocian a la metalurgia de plomo-plata –como nos testimonian los ejemplares procedentes de varios yacimientos de la provincia de Huelva– debe considerarse también su empleo en la fundición de metal para colar en molde, ya sea a partir de metal en bruto o de reciclaje de chatarra, como sugiere por ejemplo el hallazgo de una pieza de este tipo en el yacimiento de El Palomar (Rovira Llorens *et al.* 2005). Se ha supuesto pues que tanto las toberas corniformes como las de cuerpo acodado fueran empleadas en procesos de oxidación, copelación, afino o fundición de metal, ya que se trata de operaciones que requieren un intenso flujo de aire directo sobre el metal. Su forma curva, además de no resultar

adecuada para su inserción en un horno de reducción de mineral, induce a pensar en una posición que permite aportar aire a la vasija metalúrgica desde arriba, un tipo de ventilación que resulta conveniente tanto para la copelación de plata como para la fundición de metal en crisol.

De todos modos, en La Fonteta –donde se están llevando a cabo operaciones metalúrgicas para la producción de distintos metales– la coexistencia de tipos tan variados de toberas, aunque no permita aclarar la distinta funcionalidad de los tipos, parece sugerir cierta tendencia a utilizar un determinado tipo de tobera en las distintas operaciones metalúrgicas. Por ejemplo, a pesar de que los datos disponibles todavía sean parciales, para la época objeto de esta Tesis no hay evidencia del uso de toberas de sección circular para la producción del hierro; sin embargo, las toberas prismáticas parecen ser un tipo más versátil, habiéndose empleado para la producción de distintos metales aunque predominen en contextos siderúrgicos.

A este propósito merece una última mención la coincidencia que se ha observado entre el tipo de pasta cerámica empleada para la fabricación de las toberas y su posible vinculación a un tipo u otro de producción metalúrgica. Todos los ejemplares de toberas de sección circular –sea del tipo corniforme o cilíndrico– o de sección en D encontrados en La Fonteta están fabricados con arcilla fina de tipo claro y desgrasantes vegetales, mientras que para la elaboración de muchas de las toberas prismáticas, tanto de una como de dos perforaciones, se empleó pasta cerámica del tipo rojizo-marrón, compuesta por un tipo de arcilla más basta con abundantes desgrasantes, principalmente de tipo mineral.

Como ya se ha mencionado, ninguna de las toberas de sección circular o en D analizadas ha sido utilizada en la metalurgia del hierro, pudiéndose por tanto suponer que se emplearan exclusivamente para la obtención y producción de metales no ferrosos. Sin embargo, en el caso de las toberas prismáticas, es interesante notar que la tobera de doble perforación F41399 (PA12823) –en la que se ha detectado la presencia de distintos metales probablemente relacionados con la explotación de minerales cupríferos (Ni, Cu, As, Ag, Sn, Sb y Pb; Tabla 7.4)– es uno de los ejemplares fabricados con arcilla clara, un tipo de pasta cerámica que parece ser característica de las toberas de sección circular y que, por tanto, estaría relacionada con la metalurgia de base cobre, de plomo y de plata.

La hipótesis de que la diferencia en el tipo de pasta cerámica empleado pueda ser intencional y responda a necesidades pirotécnicas específicas es muy tentadora, ya que

el uso de arcillas más bastas (como las rojizo-marrones empleadas para las toberas prismáticas de La Fonteta) y con desgrasantes minerales, podría estar reflejando la elección de una pasta más refractaria y más resistente, es decir con un mejor aguante a las altas temperaturas requeridas en los procesos metalúrgicos sobre todo para la producción de hierro. Con una buena refractariedad de la pasta, obtenida por ejemplo con la adición de muchos desgrasantes de cuarzo, el extremo de la boca de la tobera durante las operaciones pirometalúrgicas llega a ponerse al rojo vivo aguantando bien el calor y es más difícil que llegue a escorificarse, lo que podría justificar en parte la falta de escorificaciones detectadas en las toberas prismáticas que, en la mayoría de los casos, sólo presentan un ligero vidriado superficial. Cuando la arcilla es más fina, o sea con pocos desgrasantes de pequeño tamaño o solo con desgrasantes vegetales, la tendencia a vidriarse es mayor, como se ha podido comprobar en los ejemplares de sección circular analizados.

De todos modos, la diferencia en el tipo de arcilla utilizada no implica necesariamente un factor de intencionalidad, ya que podría depender simplemente de la materia prima a disposición para su fabricación; por ejemplo, los ejemplares de pasta rojiza, que son menos numerosos comparados con los de pasta clara, podrían no haber sido producidos en el yacimiento; además, hasta que no se lleve a cabo un estudio analítico detallado de estas pastas cerámicas para averiguar su mayor o menor capacidad refractaria, esta observación no pasa de ser pura conjetura. Asimismo, como se verá más adelante en el capítulo dedicado a las vasijas de uso metalúrgico (Cap. 8), todos los estudios analíticos de cerámica técnica contemporánea realizados hasta la fecha (Freestone 1989; Tite *et al.* 1990; Thornton y Rehren 2009) apuntan a que, por lo menos hasta época romana, no existen evidencias ciertas para proponer una intencionalidad del uso de diferentes pastas cerámicas para las distintas operaciones de producción de metales; de hecho, no parece que hubiera un control de la proporción o una elección de determinados componentes de la arcilla con el fin de incrementar sus propiedades físicas y térmicas.

8. LAS VASIJAS CERÁMICAS DE USO METALÚRGICO

8.1 INTRODUCCIÓN

La palabra “crisol” denomina un recipiente fabricado en material refractario que se usa para recoger algún material fundido a elevadas temperaturas. En la antigüedad, los crisoles servían para recibir el metal en estado líquido, y también se usaban para refundir chatarra, lingotes y obtener aleaciones de distintos metales. En general, se fabricaban en arcilla, aunque se conocen algunos ejemplares en piedra, como por ejemplo la vasija metalúrgica de la Edad del Bronce procedente de Laderas del Castillo (Callosa de Segura) en la provincia de Alicante (Simón 1996: 40).

Por lo que concierne a la función de estos receptáculos, hay que distinguir entre los crisoles de fundición propiamente dichos, empleados para colar el metal en moldes, y las vasijas-horno, como las denominó inicialmente S. Rovira Llorens (1989). Estas últimas corresponden a recipientes cerámicos en los que se introducía directamente el mineral finamente triturado, cubriéndolo con una espesa capa de carbón para asegurar un ambiente reductor y proceder a su reducción a metal, funcionando así como pequeños hornos. De hecho, como es lógico en este tipo de metalurgia, la cara interna de estos reactores —que actualmente se denominan más correctamente vasijas de reducción (Rovira Llorens y Ambert 2002; Rovira Llorens 2005b)— está fuertemente alterada por el fuego y a menudo presenta escoriificaciones adheridas y zonas de vidriado de la cerámica (Fig. 8.1); por el contrario, la cara externa no suele presentar signos evidentes de afectación térmica.

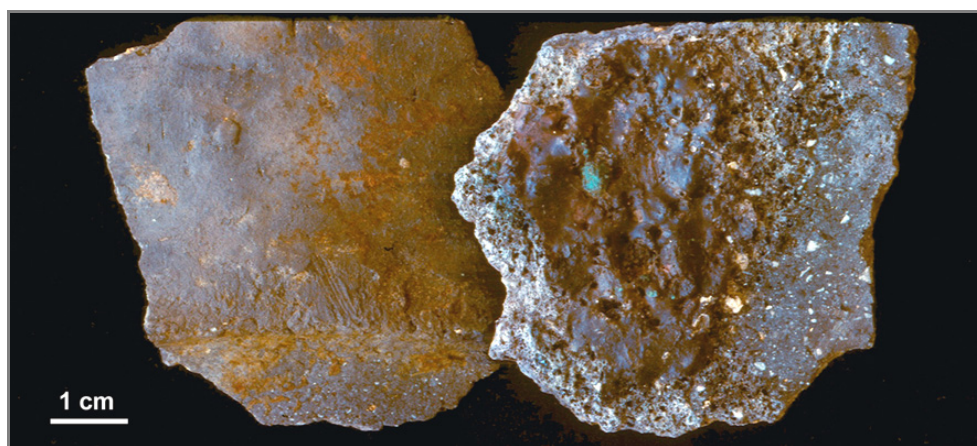


Fig. 8.1. Fragmento de una vasija de reducción de Almizaraque (Almería) en el que se aprecia la diferencia entre las superficies exterior e interior. Medios III milenio a.C. Foto S. Rovira Llorens.

En la mayoría de los casos, la masa escoriácea que se formaba durante el proceso de reducción quedaba adherida a la cerámica y era necesario romper la vasija para poder extraerla y triturarla con el fin de recuperar el metal obtenido (Renzi 2010: 125-126).

8.1.1 Las vasijas de reducción

El uso de estas vasijas estaba muy difundido en la Península Ibérica (Fig. 8.2) y se ha documentado su empleo para la reducción de minerales cupríferos ya en las fases tempranas de la metalurgia. Se han encontrado fragmentos en numerosos yacimientos con distintas cronologías y, según se observa en la figura 8.2, se ha identificado una especial concentración en la Meseta Sur y en el sureste peninsular, aunque hay que hacer notar que la distribución observada parece debida principalmente al estado de la investigación arqueometalúrgica en las distintas áreas de la Península Ibérica.

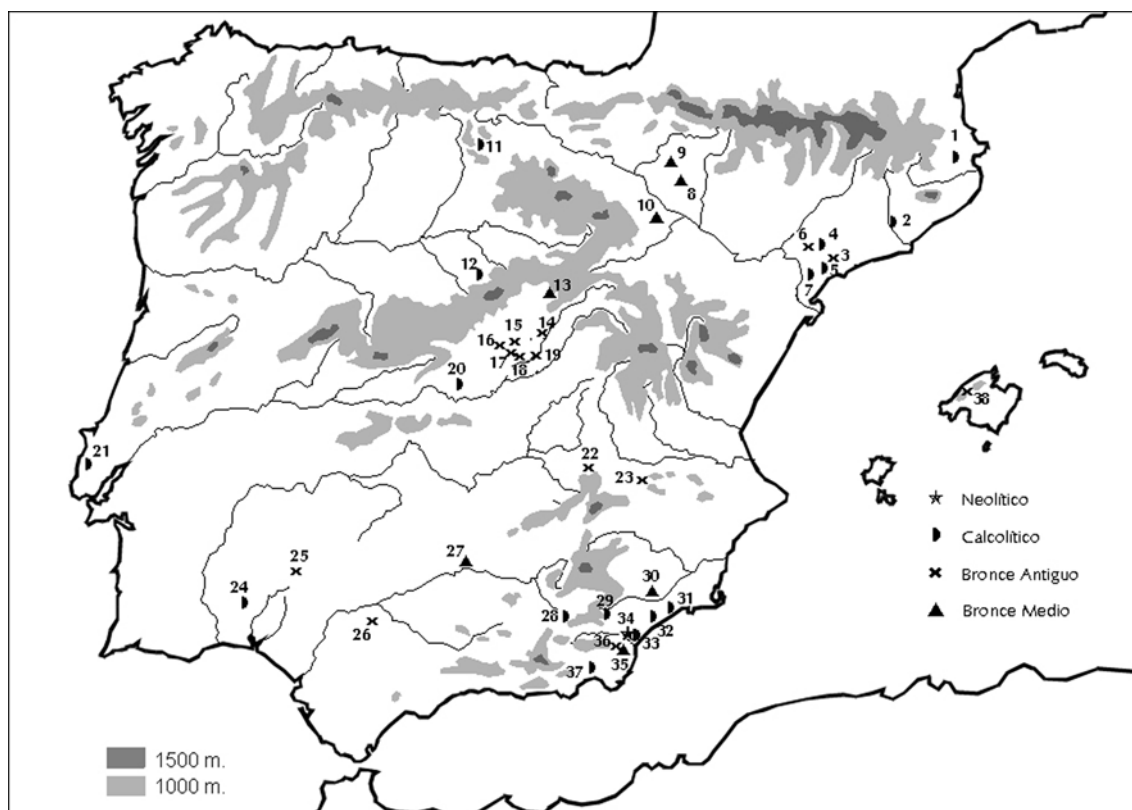


Fig. 8.2. Mapa de distribución de los hallazgos en la Península Ibérica y Baleares de vasijas de reducción de minerales de cobre, según Rovira Llorens y Ambert 2002. Diseño realizado por I. Montero. 1) Bauma del Serrat del Pont; 2) Cova del Frare; 3) Cova del Cartanya; 4) Balma del Duc; 5) Cova del Buldó; 6) Coveta de l'Heura; 7) Cova Josefina; 8) Puy Aguila; 9) Monte Aguilar I y II; 10) Moncín; 11) Cueva Rubia; 12) Cueva de la Vaquera; 13) Loma del Lomo; 14) Matillas; 15) El Ventorro; 16) Villaviciosa de Odón; 17) Camino de la Yesera; 18) Arenero de Soto; 19) Carabaña 35/40; 20) Fontarrón; 21) Zambujal; 22) Morra del Quintanar; 23) El Acequión; 24) Cabezo Juré; 25) Trastejón y Puerto Moral; 26) El Acebuchal; 27) Llanete de los Moros; 28) Cerro del Prado; 29) El Malagón; 30) La Bastida; 31) La Ceñuela; 32) Parazuelos; 33) Almizaraque; 34) Cerro Virtud; 35) El Argar; 36) Lugarico Viejo; 37) Los Millares; 38) Son Matge.



Fig. 8.3. Fragmento de vasija de reducción procedente de Cerro Virtud de Herrerías (Cuevas del Almanzora, Almería). V milenio a.C.

Un fragmento escoriificado de vasija de reducción procede de los niveles neolíticos del yacimiento de Cerro Virtud de Herrerías (Cuevas del Almanzora), en la provincia de Almería (Ruiz Taboada y Montero Ruiz 1999), y presenta restos cupríferos adheridos (Fig. 8.3). Se trata del fragmento de vasija de reducción más antiguo encontrado en la Península Ibérica hasta la fecha.

Durante el Calcolítico, la manera habitual de obtener cobre sigue siendo el uso de vasijas de reducción, y hay varios ejemplos de fragmentos cerámicos con decoración campaniforme utilizados en operaciones metalúrgicas (Fig. 8.4a). Estos hallazgos de cerámica decorada y con escoriificaciones adheridas parecen sugerir que probablemente se pudo emplear cualquier recipiente cerámico abierto para las operaciones de obtención y fundición de metal.

De hecho, en yacimientos del III milenio a.C. como Almizaraque (Cuevas del Almanzora) (Delibes de Castro *et al.* 1991; Montero Ruiz 1993) o Los Millares (Santa Fé de Mondújar), ambos en provincia de Almería (Hook *et al.* 1991; Keesmann *et al.* 1991-1992), se ha documentado un amplio y variado registro de vasijas cerámicas de distinto tamaño, generalmente medio-grande, con espesas capas de escoriificación adheridas a su cara interna (Fig. 8.4b).

Aunque las vasijas de reducción empleadas en el Calcolítico presenten una tipología bastante variada, predominan los recipientes de uso común con boca abierta y poca altura, de formas hemisféricas, cilíndricas o cilíndrico-cónicas. Los diámetros de boca generalmente oscilan entre apenas 10 cm y aproximadamente 40 cm, en cambio, los grosores de pared no suelen exceder 1 cm. Hay alguna excepción que presenta mayor tamaño, como la fuente encontrada en el poblado de La Ceñuela (Mazarrón,

Murcia) que se ha podido reconstruir a partir de sus fragmentos y presenta un diámetro de boca de aproximadamente 45 cm (Rovira Llorens 2005b).

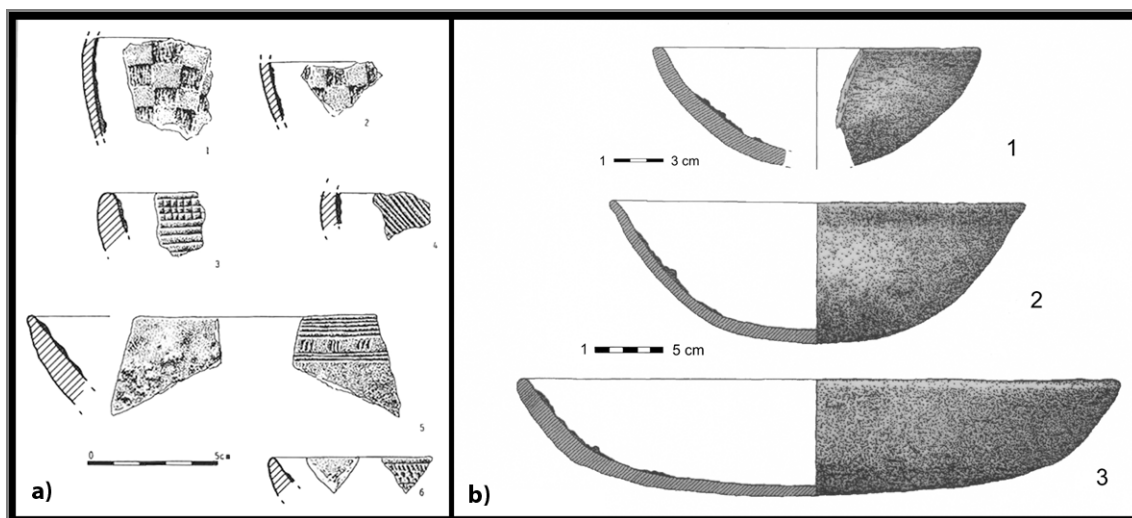


Fig. 8.4. a) Fragmentos de vasijas de reducción con decoración campaniforme: 1-2 Sont Matge (Mallorca); 3-4 Bauma del Serrat del Pont (La Garrotxa, Girona); 5-6 El Ventorro (Villaverde, Madrid), según Alcalde *et al.* 1998; b) Vasijas de reducción procedentes de 1) Morra del Quintanar (Albacete) y 2-3) Almizaraque (Cuevas del Almanzora, Almería). Según Montero Ruiz 1993, dibujos realizados por A. Ruiz-Taboada.

Todos los recipientes mencionados hasta el momento son tipos cerámicos de uso común, reaprovechados para la actividad metalúrgica. Los escasos estudios de las arcillas confirman que se encuadran en los grupos de pastas cerámicas mayoritarias en los yacimientos en cuestión y no tienen ningún rasgo diferenciador en relación a la vajilla cotidiana.

Existe un segundo tipo de vasijas que convive con el anterior y que corresponde a recipientes manufacturados exclusivamente para uso metalúrgico y con morfologías más específicas. Algunos de ellos no presentan formas circulares, como los ejemplares procedentes de Zambujal en Portugal (Müller *et al.* 2007), de Cabezo Juré (Alosno) en Huelva (Nocete 2006) y de Valencina de la Concepción en la provincia de Sevilla (Nocete *et al.* 2008), entre otros. Son bandejas oblongas con bordes engrosados y apenas se elevan unos centímetros del fondo plano, y se usaron específicamente para la reducción de minerales (Fig. 8.5, nn. 1-2).

Vasijas de reducción de este tipo han sido documentadas también en el poblado calcolítico de El Malagón (Cúllar de Baza, Granada), donde además se registra la presencia de ejemplares de boca rectangular (Fig. 8.5, n. 3) que presentan escasa profundidad y a menudo tienen la cara externa sin alisar, apreciándose las huellas de las

cestas vegetales empleadas para su fabricación (Moreno Onorato 1993: 306). También han sido estudiadas con cierto detalle las del yacimiento de San Blas, confirmando su utilización en la reducción de minerales (Cheles, Badajoz) (Polvorinos *et al.* 2010).

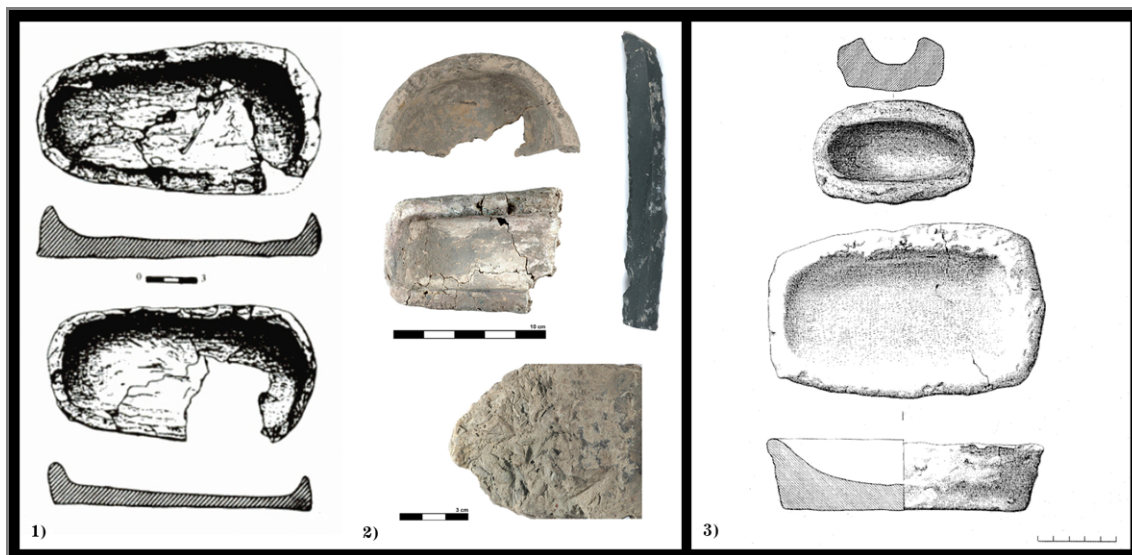


Fig. 8.5. Vasijas de uso metalúrgico procedentes de: 1) Cabezo Juré (Alosno, Huelva), según Nocete *et al.* 1999; 2) Valencina de la Concepción (Sevilla), según Nocete *et al.* 2008; 3) El Malagón (Cullar de Baza, Granada), según Moreno Onorato 1993.

A finales del periodo campaniforme empiezan a ampliarse los conocimientos metalúrgicos y probablemente durante esta época es cuando se introduce la tecnología del bronce en la Península Ibérica (Rovira Llorens 2004).

Al principio, la metalurgia del bronce y la del cobre conviven en los yacimientos no sólo por los tipos de objetos manufacturados en una u otra aleación, sino también en la tecnología empleada para su obtención. Es decir, se sigue utilizando las vasijas de reducción tanto para la producción de cobre como para la de bronce. Por ejemplo, su uso en operaciones metalúrgicas está ampliamente documentado en varios yacimientos de la provincia de Madrid, entre los cuales merece la pena mencionar Perales del Río y El Ventorro en Getafe-Villaverde por su amplio repertorio cerámico que incluye también vasijas con decoración y recipientes de forma cerrada con perfil en S (Blasco y Rovira Llorens 1992-1993; Priego y Quero 1992; Rovira Llorens y Montero Ruiz 1994).

El registro de estos recipientes de uso metalúrgico es abundante durante toda la Edad del Bronce Final y se siguen documentando fragmentos de vasijas de reducción en varios yacimientos peninsulares hasta por lo menos la Edad del Hierro (Gómez Ramos 1996c; Gómez Ramos 1999; Rovira Llorens 2005a).

8.1.2 Los crisoles

Los crisoles más antiguos suelen ser hemisféricos, aunque curiosamente en el Calcolítico están escasamente identificados. Entre los ejemplares más antiguos actualmente conocidos hay un fragmento procedente de los niveles calcolíticos de Cerro Virtud de Las Herrerías (Cuevas de Almanzora) en Almería (Montero y Rovira Llorens 2001), y varios ejemplares completos de cronología similar encontrados en Marroquíes Bajos, en Jaén (VV.AA. 2010: 150-151). Se trata de recipientes de tamaño muy reducido, con un diámetro máximo de 6 cm (sólo un ejemplar presenta un diámetro de aprox. 9 cm), escasa profundidad (inferior a 3 cm) y que además no están dotados de pico vertedor, por lo que quizás podría no tratarse de crisoles propiamente dichos sino de pequeños receptáculos para formar tortas de metal.

Para la Edad del Bronce se han documentado numerosos crisoles en varios yacimientos metalúrgicos peninsulares (Gómez Ramos 1996c; Rovira Llorens 2007), algunos conservándose completos como los que fueron publicados por L. Siret y E. Siret (1890) procedentes de El Argar o los del yacimiento de Peñalosa en Jaén (Moreno Onorato 2000). Sin embargo, por falta de estudios analíticos específicos, en las referencias bibliográficas pueden aparecer clasificados como crisoles fragmentos de vasijas cerámicas utilizadas en operaciones de reducción de minerales (Delibes de Castro y Montero Ruiz 1999).

Con respecto a sus características morfométricas, tradicionalmente se asume que los crisoles de fundición presentan menor capacidad y paredes más gruesas en relación a las vasijas de reducción (Rovira Llorens y Ambert 2002). Su diámetro suele oscilar entre 5 y 15 cm y las paredes a menudo superan 1 cm de grosor, siendo valores normales 1,5-2 cm, excepto en las zonas más próximas al borde donde en algunos casos suele adelgazarse. Asimismo, pueden presentar en su interior capas más o menos finas de escoriación y vidriados en distintas zonas de la cerámica.

El estudio tipológico de estos recipientes suele centrarse principalmente en dos aspectos, su forma y su capacidad, además de algunos elementos singulares como las bases o pies, los picos vertedores, las asas o algún otro sistema de sujeción y enmangue (Simón 1996). Como para las vasijas de reducción, su morfología puede ser muy amplia y variada (Fig. 8.6). En las fases más antiguas de la metalurgia, se conocen formas principalmente abiertas de distinto tamaño, con boca circular, ovalada o triangular, y

bordes más o menos rectos con labio normalmente curvo, aunque también se conocen ejemplares con borde plano. En algunos casos, estos bordes están decorados con incisiones, como los ejemplares procedentes de la provincia de Valencia (Simón 1996) o de Rillo de Gallo en Guadalajara (Redondo *et al.* 1989).

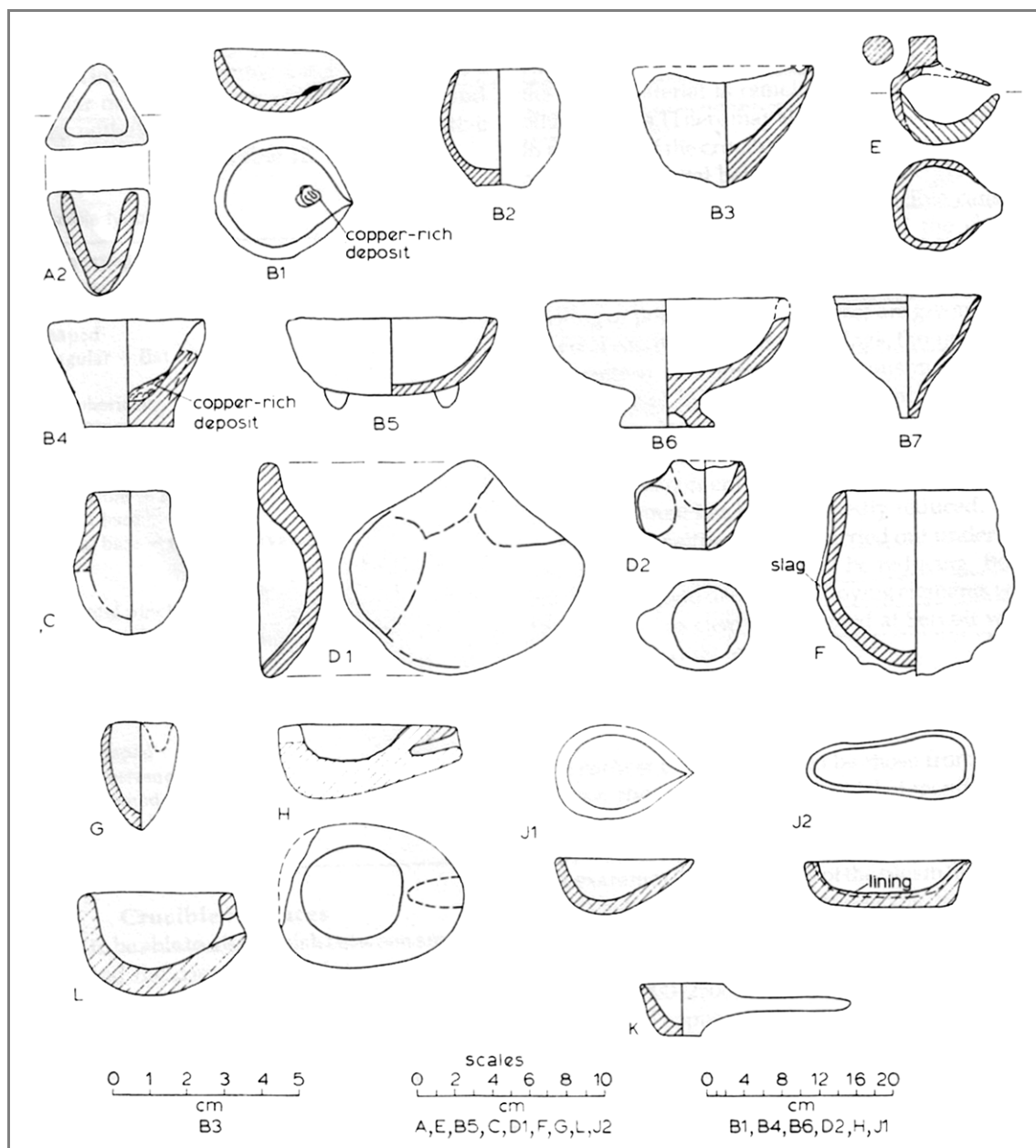


Fig. 8.6. Diferentes tipos de crisoles de fundición de distinta procedencia y cronología. Desde el IV milenio a.C. (H) hasta época romana (B2, B3, C, F, G), según Tylecote 1976.

Según los datos actualmente disponibles, parece que es en los momentos finales del Bronce Medio/transición entre Bronce Medio y Bronce Final cuando empieza a difundirse en la Península Ibérica un tipo de crisol más evolucionado, a veces dotado de pico vertedor y mango de sujeción, aunque haya alguna excepción que pueda ser

adscrita a la primera mitad del II milenio a.C.; este es el caso, por ejemplo, de los crisoles con mango y pico vertedor de Minferri (Juneda) en Lleida (López Melción y Moya Garra 2009).

Fuera de la Península Ibérica, las vasijas con mango, con o sin piquera, son una tipología bastante común ya desde las primeras fases de la metalurgia y son numerosos los yacimientos que han proporcionado recipientes de este tipo (Fig. 8.7). Los antecedentes más antiguos están documentados en contextos del IV milenio a.C. tanto en el Mediterráneo oriental como en el Mediterráneo occidental y en Europa. Por ejemplo, algunos crisoles con mango fueron encontrados en Meser (Israel), en Wadi Fidan 4 y en Tell Magass en la zona de Aqaba (Hauptmann 2007). Otros ejemplares, fechados entre finales del IV y la primera mitad del III milenio a.C., han sido recogidos en yacimientos griegos, como Sesklo en Tesalia, Lerne en Argolida y en distintas islas (Lesbos, las Cícladas, Keos y Melos).

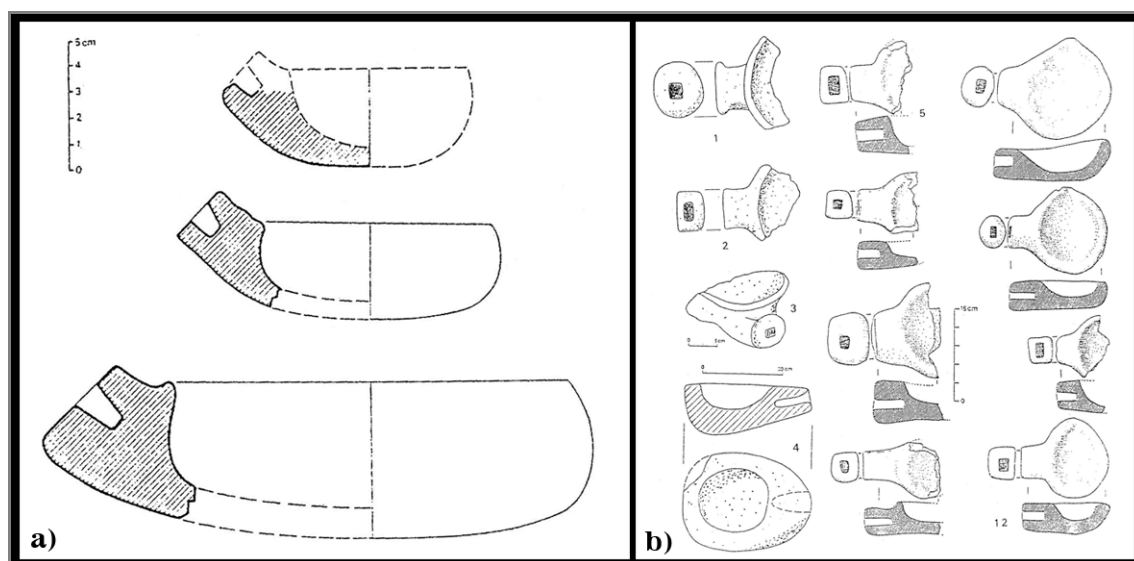


Fig. 8.7. Ejemplares de vasijas metalúrgicas con enmangue procedentes de: a) Terrina (Córcega), según Camps 1992; b) 1-2. Monte d'Accodi (Cerdeña); 3. Lerne (Grecia); 4. Meser (Israel); 5-12. Lago di Ledro (Italia), según Camps 1992.

Numerosas vasijas proceden también del Mediterráneo occidental: el yacimiento calcolítico de Terrina en Córcega ha proporcionado varios fragmentos (Fig. 8.7a); otros, pertenecientes a la Cultura di Ozieri, proceden de Monte d'Accodi en Cerdeña (Camps 1992) (Fig. 8.7b, nn. 1-2). Los ejemplares más antiguos encontrados en Europa pertenecen a la última fase del Neolítico Medio y han sido recogidos en el yacimiento suizo de Mozartstrasse, en Zurich (Fasnacht 1991). Otros fueron recogidos en niveles del Bronce Antiguo en Trentino (Lago di Ledro), en Schrekensse (Baviera), y en

contextos calcolíticos en Beaussement y Serre de Boidon (Ardèche) en Francia (Camps 1992: 42).

Probablemente esta mejora técnica en la morfología de los crisoles se produjo como respuesta a nuevas necesidades relacionadas con las características de los moldes, a menudo bivalvos, que presentaban conos de vertido más pequeños obligando a una mayor precisión. Además, la presencia de un asa o de un mango de sujeción permitiría un más cómodo manejo del crisol a la hora de verter el metal. Este tipo de crisol sigue documentándose durante toda la Edad del Hierro, mientras que en época romana empieza a tener mayor difusión el uso de vasijas de cuerpo alargado, de forma cilíndrica o cónica y de dimensiones más reducidas.

De todos modos, a causa de la escasez de estudios específicos sobre el tema, es difícil proponer una clasificación y establecer una evolución cronológica de estos recipientes, sobre todo para las primeras fases de la metalurgia peninsular durante las cuales el número de hallazgos es más exiguo (Renzi 2010: 133-135).

8.1.3 Comparación entre vasijas de reducción y crisoles

Como ya se ha indicado antes, tradicionalmente se ha supuesto que la diferencia principal entre vasijas de reducción y crisoles de fundición reside en el tamaño y grosor de las paredes, siendo estos últimos generalmente más pequeños, con paredes más gruesas y a veces dotados de pico vertedor, pie o mango de sujeción (Rovira Llorens y Ambert 2002). Pero, de acuerdo con los datos actualmente disponibles, ya no parece estar tan claro si la distinción funcional de los recipientes de uso metalúrgico pueda establecerse a partir de diferencias morfológicas o de tamaño; de hecho, existen algunos ejemplares de vasijas de reducción que también están dotadas de pico vertedor y/o de mango (Fig. 8.8).

Tampoco las características físicas proporcionan elementos fiables de discriminación; a menudo, la manufactura de estos recipientes es bastante basta y, tanto en el caso de las vasijas de reducción como en el de los crisoles de fundición, la pasta cerámica puede ser rugosa, con desgrasantes vegetales y/o minerales (normalmente cuarzo o caliza). Las paredes habitualmente tienen grosores suficientes para que el vaso pueda soportar el choque térmico producido por las altas temperaturas que se alcanzan durante los procesos metalúrgicos, y suele depender de la forma y del tamaño de la vasija. Estos recipientes presentan las superficies internas y externas alisadas aunque, en

algunos casos, la cara externa puede estar fabricada groseramente, apreciándose los desgrasantes a simple vista (Renzi 2010: 135-136).

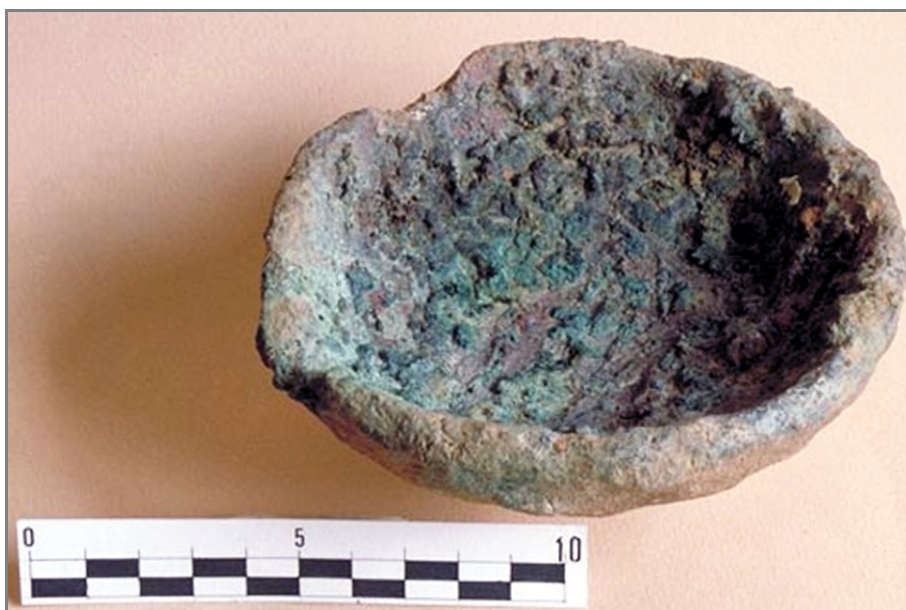


Fig. 8.8. Vasija de reducción procedente de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén). Bronce Medio avanzado. Foto Francisco Contreras y Auxilio Moreno Onorato.

El tipo, el espesor y la composición de las escoriaciones son elementos que pueden proporcionar información importante para distinguir entre vasijas empleadas en operaciones de obtención o de fundición de metal. Según los estudios analíticos llevados a cabo hasta la fecha, las escoriaciones de las vasijas de reducción suelen ser más gruesas y heterogéneas respecto a las de los crisoles de fundición que, como ya se ha mencionado anteriormente, presentarían una capa de escoriación más fina, de textura y aspecto bastante homogéneo, cuya composición suele corresponder a la reacción por las elevadas temperaturas de la misma vasija con el metal fundido. Sin embargo, en muchos casos, el tamaño reducido de los fragmentos no proporciona información suficiente para determinar si se trata de una vasija empleada en operaciones de metalurgia primaria o de un recipiente utilizado para la fundición, aleación, afino o reciclaje de metal. Además, la falta de una muestra representativa de datos analíticos que permitan caracterizar más detalladamente la naturaleza de las escoriaciones adheridas a los recipientes de uso metalúrgico no permite aclarar si existe una tipología específica de vasija en función del uso, aunque la heterogeneidad del registro arqueológico no parece apoyar esta hipótesis (Renzi 2010: 137).

8.2 LAS VASIJAS DE USO METALÚRGICO DE LA FONTETA

La Fonteta ha proporcionado más de 200 fragmentos de vasijas cerámicas relacionadas con operaciones metalúrgicas. El elevado número de ejemplares recogidos, de los cuales desafortunadamente ninguno está completo, incluye abundantes restos de bordes que muestran una gran variedad tipológica, con distintos tamaños y grosores de paredes. Se trata principalmente de recipientes abiertos, de cuerpo hemisférico y boca de tendencia circular; el diámetro y la profundidad son variables, así como el tipo de borde y el grosor de las paredes. Se han documentado ejemplares que presentan elementos peculiares, como asas o anillos para el enmangue, picos vertedores y pies desarrollados aunque, por el mal estado de conservación y/o por las dimensiones reducidas de los fragmentos, resulta difícil reconstruir su forma original.

En ocasiones, estas vasijas presentan vidriados superficiales y/o están enteramente o parcialmente cubiertas por una capa de escoria que puede ser muy fina o superar 1 cm de grosor. Se han documentado también algunos ejemplares en los que hay evidencia de su uso repetido, es decir que se trata de recipientes que podrían haber sido empleados en varias operaciones metalúrgicas, según lo que parece indicar la presencia de capas superpuestas de escorificación alternadas con finos lechos de arcilla que habían sido echados para recubrir la cara interna de la vasija y volver a darle la forma original (Fig. 8.9).

También Mohen (1992: 121), en su clasificación de los distintos tipos de crisoles, menciona la existencia de vasijas tipo “copela” que habían sido utilizadas repetidas veces, con sucesivas capas escorificadas en el interior del recipiente.

Con respecto a la pasta cerámica empleada para fabricar las vasijas metalúrgicas de La Fonteta, se han identificado dos tipos principales.

Un tipo se caracteriza por su color rojizo-marrón, arcilla poco depurada mezclada con escasa materia vegetal, y por la presencia de abundantes desgrasantes minerales que se aprecian a simple vista y que, a veces, alcanzan dimensiones notables, como en un ejemplar (F11094) en el que se observan inclusiones de cuarzo de hasta 4-6 mm de tamaño.

El segundo tipo de pasta cerámica se caracteriza por su color claro y textura bastante homogénea; en general, la arcilla es fina y presenta abundantes desgrasantes vegetales. En algunos casos, el fuerte impacto térmico de las operaciones metalúrgicas

ha producido distintas coloraciones en la sección o en las superficies de la cerámica, que varían entre el rosado y el gris oscuro. Por el contrario otros ejemplares, por su color y textura, apenas parecen haber sido expuestos a la acción del fuego, presentando una pasta poco cocida.

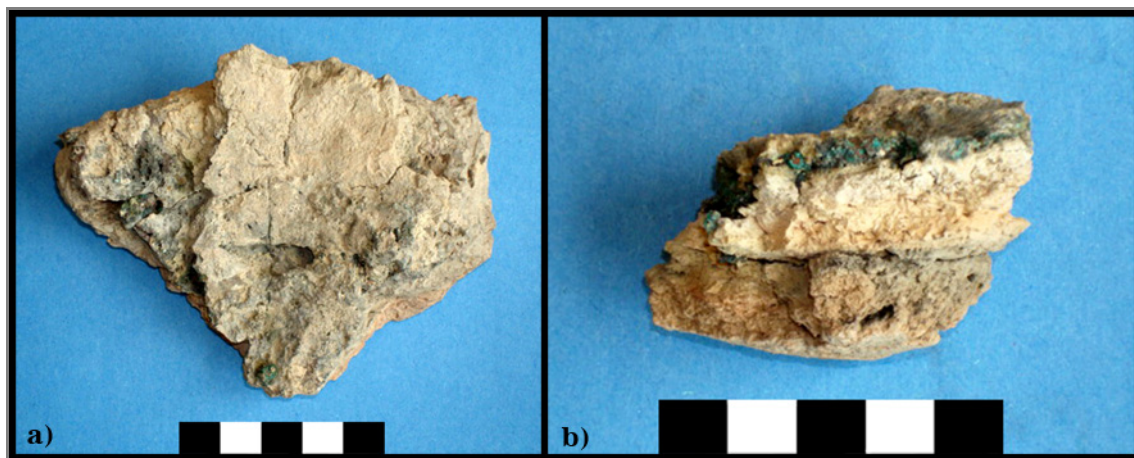


Fig. 8.9. Vasijas metalúrgicas de doble uso, procedentes de La Fonteta: a) F50299; b) F31204.

Con respecto a la distribución de estos fragmentos de vasijas dentro de las distintas fases cronológicas del yacimiento, la situación es similar a la que ya se ha observado en el estudio de las toberas. Del conjunto de 225 ejemplares identificados, prácticamente la totalidad del registro puede enmarcarse dentro de la fase arcaica de La Fonteta. La mayoría de los fragmentos encontrados proceden del Corte 54-1 y, de estos, 27 fragmentos pertenecen a la fase I y los restantes 115 han sido atribuidos a la fase II.

También los Cortes 5 y 5N han proporcionado una cantidad relevante de fragmentos de vasijas de uso metalúrgico; los 33 procedentes del Corte 5N son todos de la fase II, mientras que los 19 del Corte 5 son de la fase II y sólo tres de la fase III. Asimismo, en el Corte 14 se han recogido 23 fragmentos; 15 se han atribuido a la fase II y 8 a la fase III. Aparte de estas vasijas, ambos cortes han proporcionado abundantes y variadas evidencias de actividades metalúrgicas.

Los últimos 5 fragmentos proceden de los Cortes 7 y 8. En el Corte 7 se encontraron 3 fragmentos, uno de la fase II y dos de la fase III, mientras que en el Corte 8 se recogió un fragmento atribuible a la fase II y otro fragmento, fechado genéricamente dentro de las fases VI-VII, fue encontrado en un depósito de vertidos que se formó por la acumulación de materiales de distinto tipo y cronología y que cubría tanto el Corte 8 como el adyacente Corte 7.

Esta menor presencia de vasijas metalúrgicas puede ser significativa si se considera que en estos dos cortes, sobre todo en el Corte 7, se recogieron abundantes evidencias de actividades siderúrgicas.

El mayor número de fragmentos de vasijas metalúrgicas pertenece pues a las fases más antiguas, habiéndose constatado un registro especialmente abundante en la segunda fase de La Fonteta. Como para las toberas, a partir de la fase II ya se nota un descenso en el número de hallazgos para llegar a una de las últimas fases, la fase VI-VII, a la que posiblemente pertenece sólo el fragmento del Corte 8 (Tabla 8.1).

	Corte 54-1	Corte 14	Corte 5	Corte 5N	Corte 7	Corte 8	Tot.
FASE I	27	0	0	0	0	0	27
FASE II	115	15	19	33	1	1	184
FASE III	0	8	3	0	2	0	13
FASE VI-VII	0	0	0	0	0	1	1
Tot.	142	23	22	33	3	2	225

Tabla 8.1. Distribución por fases y cortes de los fragmentos de vasijas metalúrgicas de La Fonteta.

De acuerdo con el número total de hallazgos, la frecuencia de los materiales por fases es similar en prácticamente todos los cortes. Así, el Corte 54-1 es el único en el que se han documentado fragmentos atribuidos a la fase I, mientras que en todos los demás se registra un uso abundante de estas vasijas en la fase II, reflejando posiblemente una actividad metalúrgica más intensa que empieza a reducirse a partir de la fase III, para llegar a una escasa actividad o casi total inactividad metalúrgica del asentamiento en las fases posteriores.

8.2.1 Selección de algunos fragmentos de vasijas de uso metalúrgico: una propuesta tipológica

Dentro del conjunto de recipientes de uso metalúrgico recogidos en La Fonteta, se han seleccionado 60 fragmentos que corresponden a los ejemplares más completos y/o con elementos singulares. Se han identificado al menos 8 grupos distintos de vasijas, según las características visibles en las partes conservadas de los recipientes: los bordes, el desarrollo del cuerpo, el grosor de las paredes y la presencia de elementos como picos vertedores, pies, asas u otros elementos de sujeción y enmangue. Pero, debido a la falta de ejemplares completos y al tamaño a veces reducido de los fragmentos encontrados, la clasificación que se propone resulta incompleta y podría no reflejar del todo la tipología de las vasijas documentada en La Fonteta. De hecho, es posible que algunos de los

elementos formales que caracterizan determinados grupos –como, por ejemplo, el tipo de borde, la presencia de pie o pico vertedor– coexistan con las características de otros grupos, reduciendo por tanto el número y la variedad de tipos identificados en el yacimiento. Sin embargo, con los datos actualmente disponibles, no se ha podido efectuar una clasificación más precisa. Los grupos, con sus respectivas variantes, se resumen a continuación:

- **Grupo 1:** borde plano
 - **Grupo 1A:** borde plano y paredes finas
 - **Grupo 1B:** borde plano y paredes gruesas
- **Grupo 2:** borde redondeado
 - **Grupo 2A:** borde redondeado y paredes finas
 - **Grupo 2B:** borde redondeado y paredes gruesas
- **Grupo 3:** borde biselado
 - **Grupo 3A:** borde biselado y paredes finas
 - **Grupo 3B:** borde biselado y paredes gruesas
- **Grupo 4:** borde apuntado
- **Grupo 5:** con pico vertedor
- **Grupo 6:** con asa o anillo de enmangue
- **Grupo 7:** con pie desarrollado
 - **Grupo 7A:** cuenco hemisférico con pie desarrollado
 - **Grupo 7B:** “cubilete” con pie desarrollado
- **Grupo 8:** “cubilete” con fondo plano

En todos los casos el grosor de las paredes de las vasijas se ha medido a 1 cm del borde superior.

El **Grupo 1** incluye las vasijas con borde plano y tiene dos variantes, **Grupo 1A** y **1B**, que corresponden a vasos con paredes de distintos grosores.

El **Grupo 1A** incluye las vasijas con paredes de grosor más fino, inferior a 12 mm, y está representado por cinco fragmentos. El grosor de los bordes de los ejemplares seleccionados varía entre 6 y 10,5 mm y el diámetro de la boca entre 14 y 18 cm (Tabla 8.2). El cuerpo de estos recipientes parece ser de tipo hemisférico, aunque el reducido tamaño de los fragmentos no permite determinarlo con seguridad (Fig. 8.10b). La pasta cerámica corresponde principalmente al tipo rojizo-marrón con abundantes desgrasantes

minerales (Fig. 8.10a), y en un único caso corresponde a la de color claro con desgrasantes vegetales.

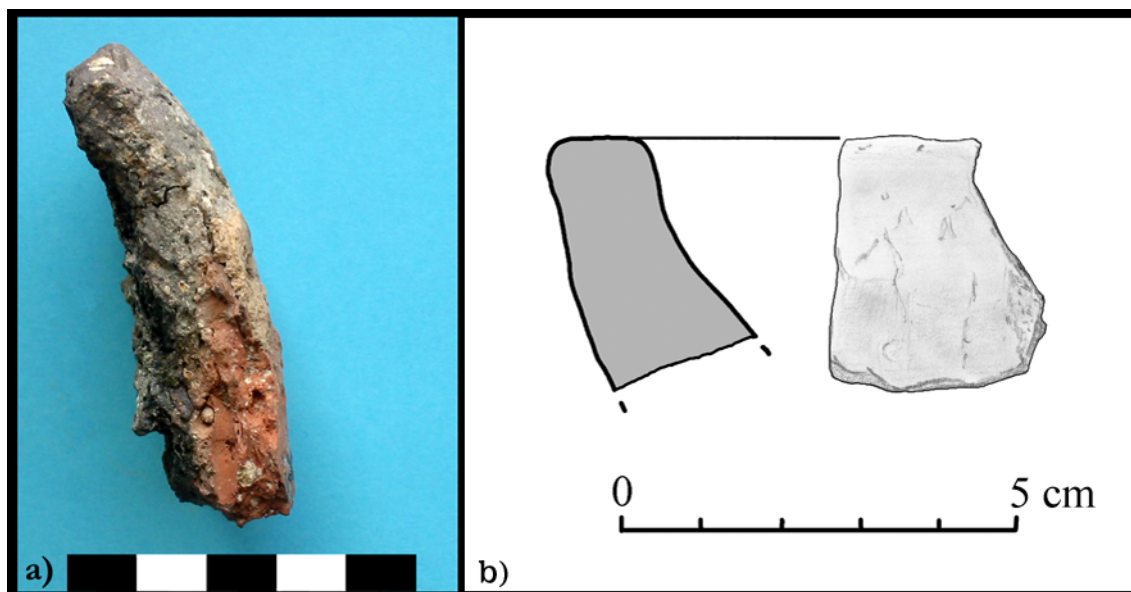


Fig. 8.10. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 1A: a) F21121; b) F11094. Dibujo realizado por Félix García Díez.

La variante **1B** corresponde a las vasijas de paredes gruesas y está representada actualmente por un único ejemplar (F50291) que destaca por su especial robustez, midiendo unos 25 mm de espesor (Fig. 8.11). Además, el desarrollo de tendencia recta del borde y de la porción de pared conservada sugiere que no se trata de una vasija de cuerpo hemisférico como para el subtipo anterior, sino de un recipiente de cuerpo ovalado u oblongo, de manufactura tosca y fabricado con pasta cerámica del tipo claro (Tabla 8.2).

Un fragmento de crisol de tipología similar –es decir de forma ovalada, ya que no se puede determinar como era el borde– procede de un yacimiento contemporáneo en La Fonteta, que presenta una fuerte influencia fenicia en su registro material, El Cabezo de la Fuente del Murtal (Alhama de Murcia, Murcia). Se trata de un fragmento de vasija cerámica con un rehundimiento de tendencia elíptica y de unos 3 mm de profundidad en el que se observa alguna incrustación cobriza y que parece corresponder al fondo plano de un posible crisol; los restos de pared conservada son muy escasos pero su grosor parece ser mayor de 10 mm, pertenecería por tanto a una vasija del grupo 1A y no a la variante 1B (Lomba y Cano 1996: 196).

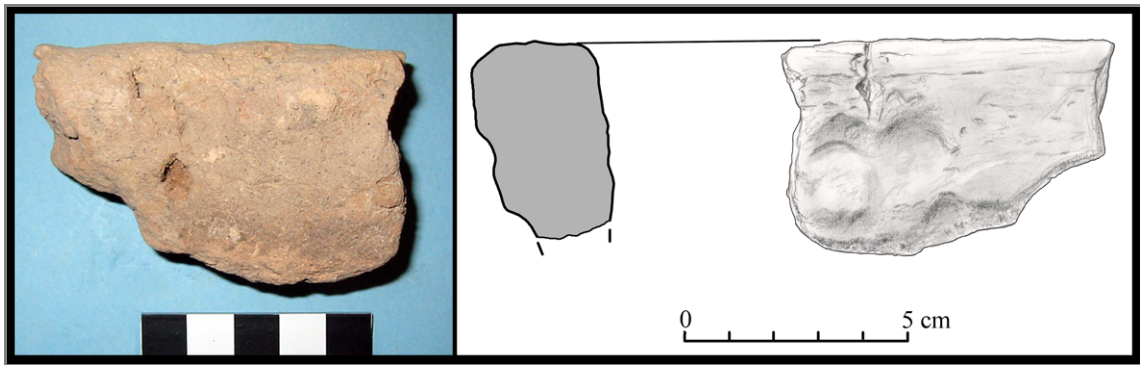


Fig. 8.11. Fragmento de vasija de La Fonteta perteneciente al Grupo 1B (F50291). Dibujo realizado por Félix García Díez.

N. Inv.	Grupo	Diámetro	Grosor del borde	Tipo de borde	Pasta
F10085	1A	18 cm	10,2 mm	plano	rojiza
F11094	1A	nr	10 mm	plano	rojiza
F21121	1A	nr	6 mm	plano (de paredes finas)	rojiza
F50258	1A	14 cm	8 mm	plano (de paredes finas)	clara
F50299	1A	18 cm	10,5 mm	plano	rojiza
F50291	1B	nr	25 mm	plano (de paredes gruesas)	clara

Tabla 8.2. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 1 (nr: no reconstruible).

El **Grupo 2** corresponde a las vasijas con borde redondeado. El **Grupo 2A** incluye ocho fragmentos correspondientes a vasijas cuyas paredes presentan grosores variables (Fig. 8.12a-b) que, en los casos documentados, están comprendidos entre 7 y 10,3 mm, mientras que el diámetro de las bocas está entre 12 y 18 cm (Fig. 8.13a-b). Para fabricar estos recipientes se han empleado ambos tipos de arcilla, hay cinco ejemplares realizados con pasta clara y tres con pasta rojiza (Tabla 8.3).

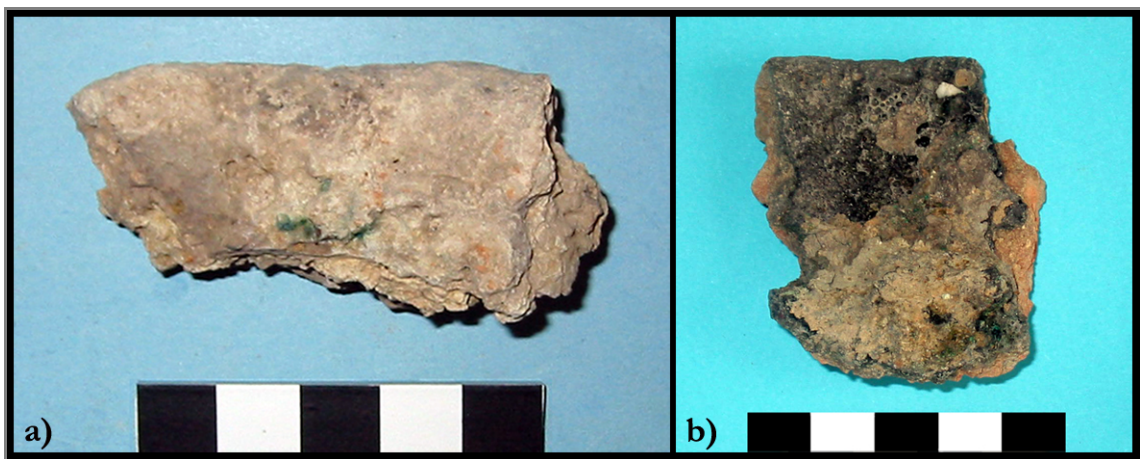


Fig. 8.12. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 2A: F41548 y F50161.

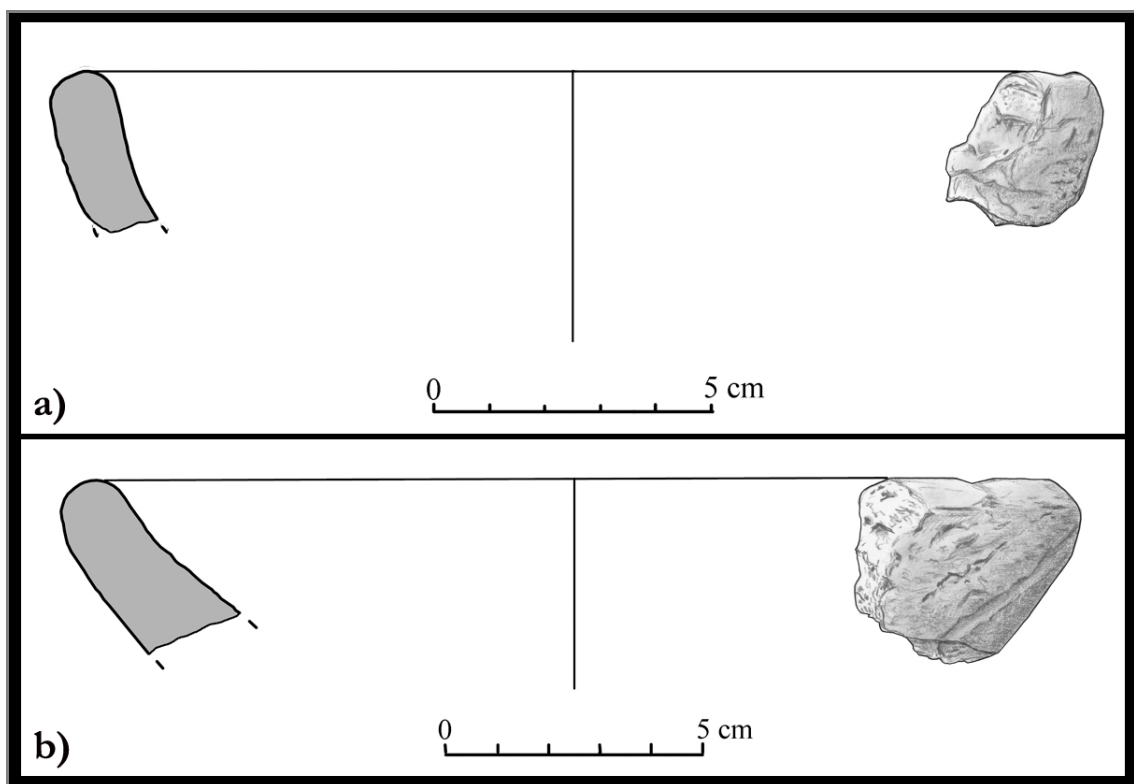


Fig. 8.13. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 2A: a) F22200 bis; b) F41526. Dibujos realizados por Félix García Díez.

La variante **2B** de este grupo corresponde a las vasijas con bordes redondeados y paredes gruesas (Fig. 8.14). Se han identificado dos fragmentos con estas características; sus bordes miden entre 14 y 17 mm, y el diámetro de la boca supera los 20 cm (Tabla 8.3). En ambos casos se utilizó arcilla clara para su fabricación.

N. Inv.	Grupo	Diámetro	Grosor del borde	Tipo de borde	Pasta
F21134	2A	14 cm	10,3 mm	redondeado	clara
F22200 bis	2A	18 cm	9,5 mm	redondeado	clara
F31099	2A	12 cm	7 mm	redondeado (de paredes finas)	rojiza
F41402	2A	12 cm	8 mm	redondeado (de paredes finas)	clara
F41526	2A	18 cm	10 mm	redondeado	rojiza
F41548	2A	12 cm	8 mm	redondeado (de paredes finas)	clara
F50161	2A	14 cm	9 mm	redondeado	rojiza
F50261	2A	nr	nr	redondeado	clara
F41531	2B	21 cm	14 mm	redondeado (de paredes gruesas)	clara
F41575	2B	20 cm	17 mm	redondeado (de paredes gruesas)	clara

Tabla 8.3. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 2 (nr: no reconstruible).

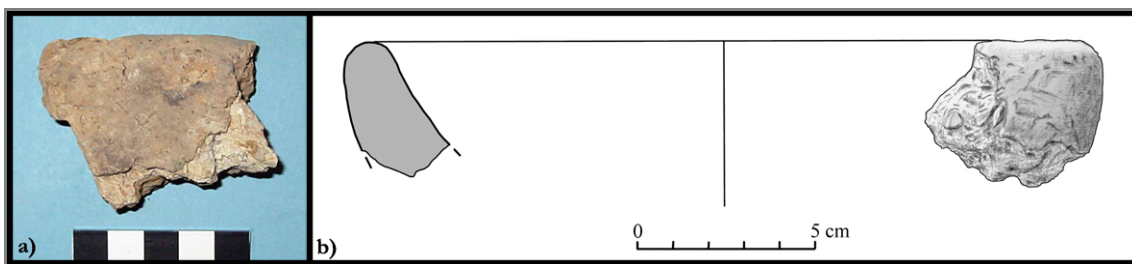


Fig. 8.14. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 2B: a) F41575; b) F41531. Dibujo realizado por Félix García Díez.

El **Grupo 3** incluye las vasijas que presentan borde biselado. A la variante **3A** se han asignado tres fragmentos (Fig. 8.15) cuyo grosor de pared varía entre 6 y 10 mm, y los diámetros de boca están comprendidos entre 10 y 16 cm (Tabla 8.4).

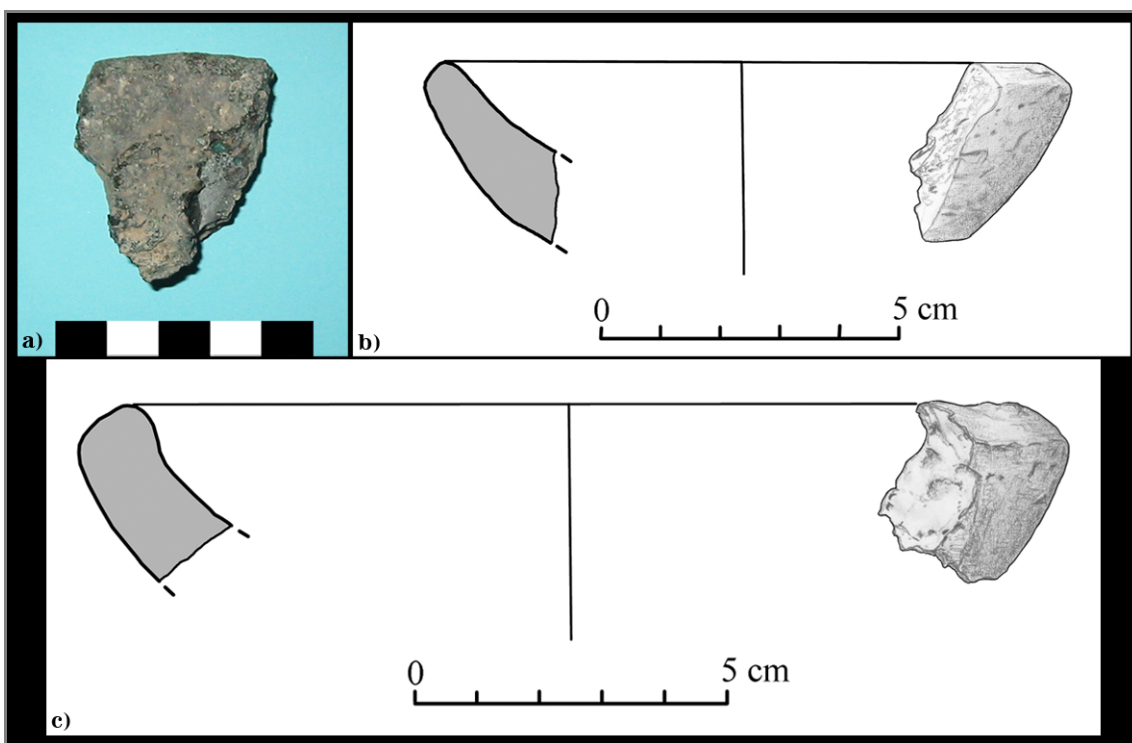


Fig. 8.15. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 3A: a) F50165; b) F50621; c) F62062. Dibujos realizados por Félix García Díez.

La variante **Grupo 3B** incluye también tres fragmentos y presenta paredes más gruesas, con espesores de entre 14 y 22 mm (Fig. 8.16); sólo en un caso se ha podido calcular el diámetro de la vasija cuya boca mediría aproximadamente 20 cm. Para la fabricación de las vasijas pertenecientes a ambas variantes del Grupo 3 se ha empleado pasta cerámica del tipo claro (Tabla 8.4).

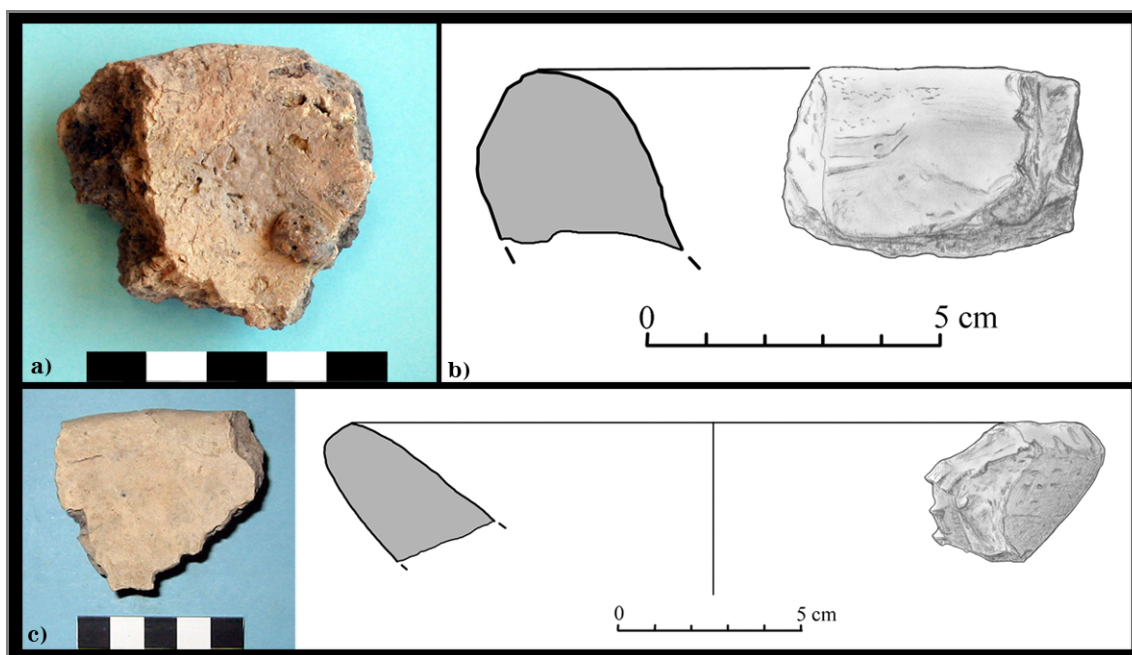


Fig. 8.16. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 3B: a) F41374; b) F41585; c) F41410-1. Dibujos realizados por Félix García Díez.

N. Inv.	Grupo	Diámetro	Grosor del borde	Tipo de borde	Pasta
F50165	3A	nr	6 mm	biselado (de paredes finas)	clara
F50621	3A	10 cm	6 mm	biselado (de paredes finas)	clara
F62062	3A	16 cm	10 mm	biselado	clara
F41374	3B	nr	19 mm	biselado (de paredes gruesas)	clara
F41585	3B	nr	22 mm	biselado (de paredes gruesas)	clara
F41410-1	3B	20 cm	14 mm	biselado (de paredes gruesas)	clara

Tabla 8.4. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 3 (nr: no reconstruible).

Los fragmentos de vasijas con borde apuntado forman el **Grupo 4** (Fig. 8.17). Se trata de tres fragmentos cuyo grosor varía entre 10 y 12 mm y que suelen presentar un engrosamiento en el desarrollo de las paredes hacia la base de la vasija, empezando a aproximadamente 1 cm de distancia del borde superior.

Un único fragmento de vasija tiene un tamaño suficiente para poder reconstruir su diámetro de boca que parece medir alrededor de 15 cm. Como para el Grupo 3, se empleó sólo pasta cerámica del tipo claro para fabricar estos recipientes (Tabla 8.5). No se ha podido identificar ninguna variante para este grupo.

N. Inv.	Grupo	Diámetro	Grosor del borde	Tipo de borde	Pasta
F12739	4	nr	11,5 mm	apuntado	clara
F41741	4	nr	10 mm	apuntado	clara

F62030	4	15 cm	12 mm	apuntado	clara
--------	---	-------	-------	----------	-------

Tabla 8.5. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 4 (nr: no reconstruible).

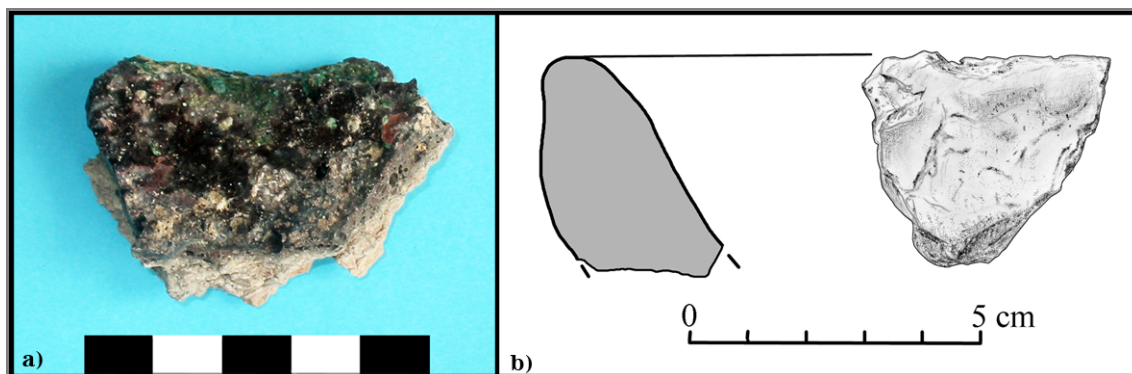


Fig. 8.17. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 4: a) F62030; b) F41741. Dibujo realizado por Félix García Díez.

El **Grupo 5** incluye las vasijas que están dotadas de piqueta (Fig. 8.18), un elemento que se ha supuesto debería ser característico de los crisoles de fundición, ya que permitiría obtener un vertido más preciso del metal en los moldes.

Se han identificado cuatro fragmentos de vasijas con picos vertedores y todos están fabricados con arcilla de color claro (Tabla 8.6).

N. Inv.	Grupo	Características	Pasta
F41549	5	pico vertedor (de tamaño reducido)	clara
F41672	5	pico vertedor	clara
F41679	5	pico vertedor (ancho)	clara
F41746	5	pico vertedor (ancho)	clara

Tabla 8.6. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 5 (nr: no reconstruible).

Desafortunadamente ningún ejemplar presenta restos de pared, de borde o de otros elementos que permitan reconstruir más detalladamente la morfología de estas vasijas. El distinto tamaño y anchura de los picos encontrados sugiere que correspondan a diferentes tipos de recipiente pero, actualmente, no hay datos suficientes para concretar más sus características.

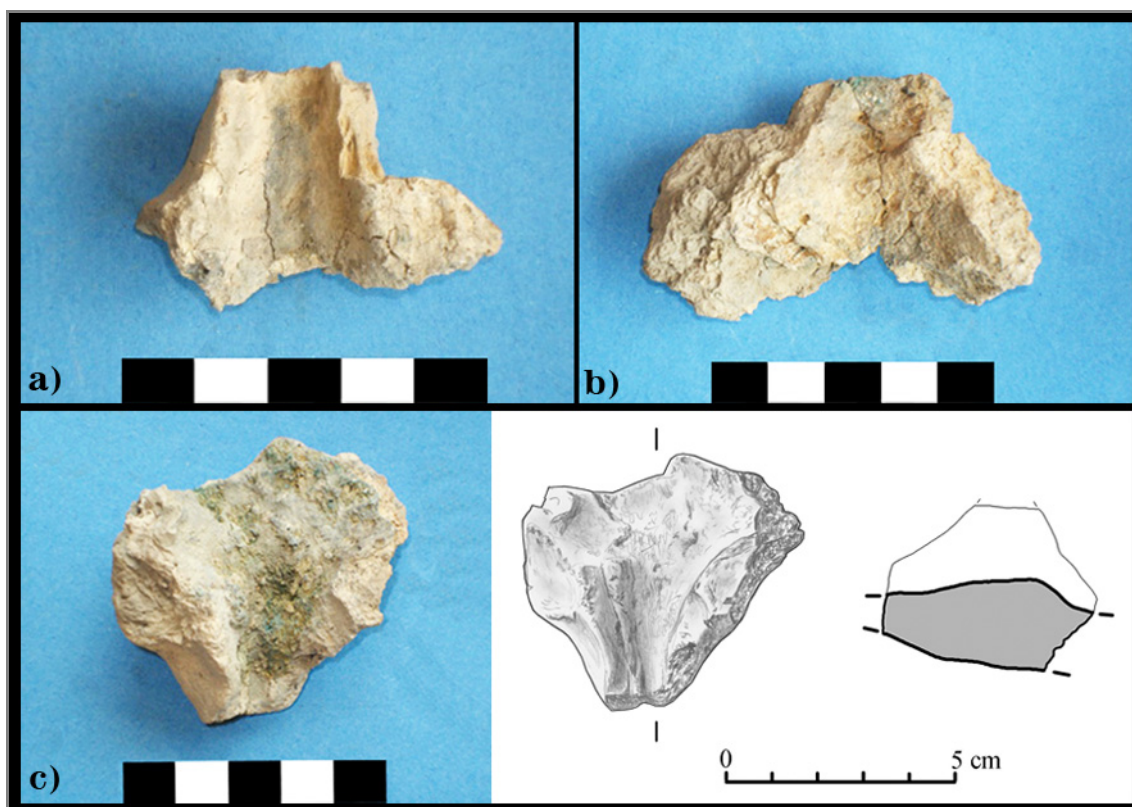


Fig. 8.18. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 5: a) F41549; b) F41672, F41746 y F41679. Dibujo realizado por Félix García Díez.

En la Península Ibérica hay numerosos casos de crisoles con pico vertedor. Los ejemplares más antiguos se atribuyen al Bronce Antiguo, como por ejemplo los que proceden del poblado de Minferri (Juneda, Lleida) o también los de Rillo de Gallo (Guadalajara). En el Bronce Medio y en el Bronce Final aumenta el número de ejemplares conocidos de vasijas con piquera. Ejemplares atribuidos genéricamente a la Edad del Bronce serían los de El Argar (Siret 1890) y los de Peña la Dueña (Teresa, Castellón) (Simón 1996); uno fechado en el Bronce Tardío se ha encontrado en Peña de Sax, Alicante (Simón 1996), y un fragmento del Bronce Final ha sido recogido en el yacimiento portugués de Entre Águas 5, Serpa (Rebelo *et al.* 2009), entre otros.

Se conoce solamente un ejemplar procedente de un yacimiento fenicio; se trata de una vasija hecha a mano de paredes gruesas hallada en el Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga) en la que se aprecia el arranque de una piquera y una escoriación adherida.

Hasta ahora sólo la escoriación del fragmento de Entre Águas 5 ha sido objeto de un estudio analítico; los resultados obtenidos por ED-XRF y por SEM-EDX parecen apuntar a su uso en operaciones para la obtención de cobre a partir de minerales, pero se

trata de datos todavía preliminares ya que los mismos autores han evidenciado la necesidad de profundizar en la investigación (Valério *et al.* 2009). De todos modos, si esta interpretación se confirmara, indicaría que posiblemente no existe una asociación clara de una determinada tipología a una función específica de la vasija. En este sentido parece apuntar también la investigación llevada a cabo sobre varios fragmentos de vasijas de uso metalúrgico del yacimiento jienense de Peñalosa (Moreno Onorato *et al.* 2010).

El **Grupo 6** está constituido por vasijas que presentan asas u otros elementos para la inserción de un mango, con el fin de poder manejar más fácilmente el recipiente para sacarlo del fuego y/o verter el metal. Se han identificado dos sistemas distintos para sujetar y enmangar las vasijas: pequeñas asas de sección circular o semicircular (Fig. 8.19a-b), y unos elementos de tendencia circular y sección ovalada con una perforación central; estos últimos se han definido anillos de enmangue y suelen ser de mayor tamaño con respecto a las asas (Fig. 8.20a-b). El Grupo 6 es el que incluye el mayor número de fragmentos seleccionados, estando representado por un total de trece piezas. Las medidas de las secciones y las características de estos elementos de sujeción se resumen en la Tabla 8.7.

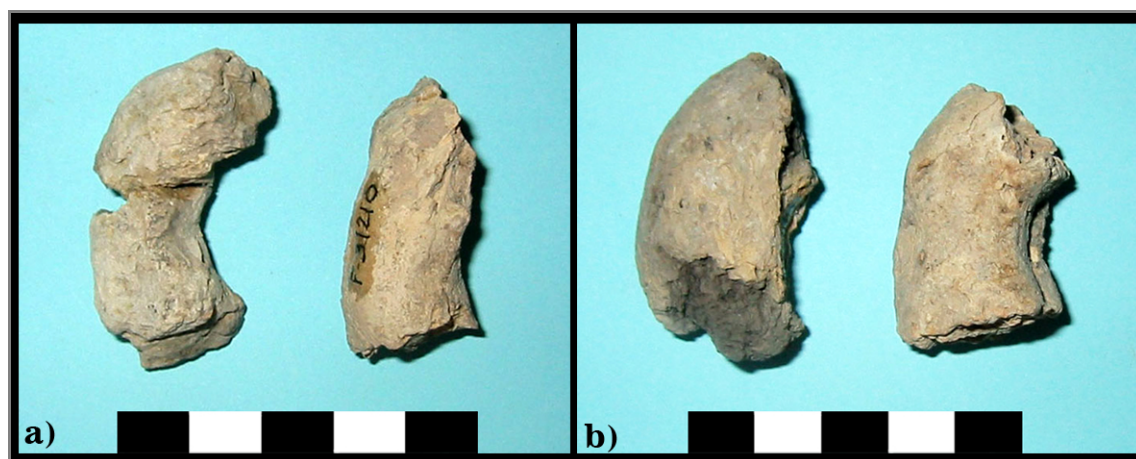


Fig. 8.19. Fragmentos de asas de vasijas metalúrgicas de La Fonteta, Grupo 6: a) F31210 y F41523; b) F41378 y F41504.

N. Inv.	Grupo	Diámetro	Grosor del borde	Tipo de borde	Sección	Características	Pasta
F31210	6	nr	nr		sección de 15 mm de tendencia semicircular	asa	clara
F41371	6	nr	nr		sección ovalada de 24 mm	anillo para enmangue	rojiza
F41378	6	nr	nr		sección de 20 mm de tendencia circular	asa	clara
F41409	6	22 cm	21 mm	redondeado (de paredes gruesas)	sección ovalada de 20 mm	arranque de asa o anillo para enmangue	clara
F41410	6	nr	nr		sección ovalada de 30 mm	anillo para enmangue	clara
F41504	6	nr	nr		sección de 23 mm de tendencia semicircular	asa	clara
F41523	6	nr	nr		sección de 16 mm de tendencia circular	asa	clara
F41529	6	nr	18 mm	redondeado (con engrosamiento y de paredes gruesas)	nr	arranque de asa o anillo para enmangue	clara
F41547	6	nr	nr		sección de tendencia triangular	arranque de asa o anillo para enmangue	clara
F41647	6	nr	nr		sección ovalada de 30 mm	anillo para enmangue	clara
F41659	6	nr	nr		sección de tendencia triangular	arranque de asa o anillo para enmangue	clara
F41799	6	nr	nr		sección ovalada de 24 mm	anillo para enmangue	rojiza
F50264	6	nr	nr		sección de 18 mm de tendencia triangular	arranque de asa?	rojiza

Tabla 8.7. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 6 (nr: no reconstruible).

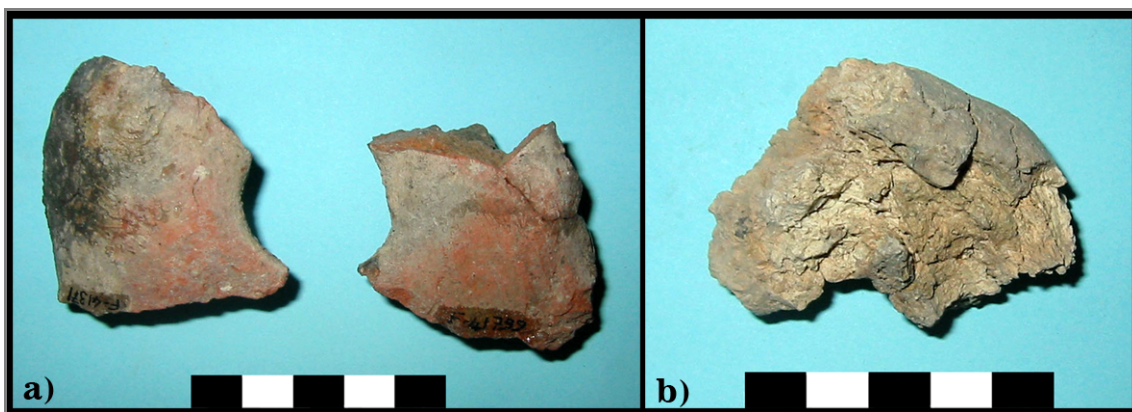


Fig. 8.20. Anillos de empuñadura de vasijas metalúrgicas de La Fonteta, Grupo 6: a) F41371 y F41799; b) F41647.

Ante la falta de ejemplares completos, se ha planteado la hipótesis de que pudieran existir dos asas o anillos paralelos colocados en el borde de la vasija. En el caso de que el tamaño de las asas lo permitiera, éstas podrían utilizarse para insertar horizontalmente un mango, en caso contrario podrían haber constituido simples elementos de sujeción de la vasija. La figura 8.21 muestra una posible reconstrucción de este tipo de recipiente dotado de asas o anillos de empuñadura y de cómo lo usaría un metalúrgico para verter el metal en un molde.

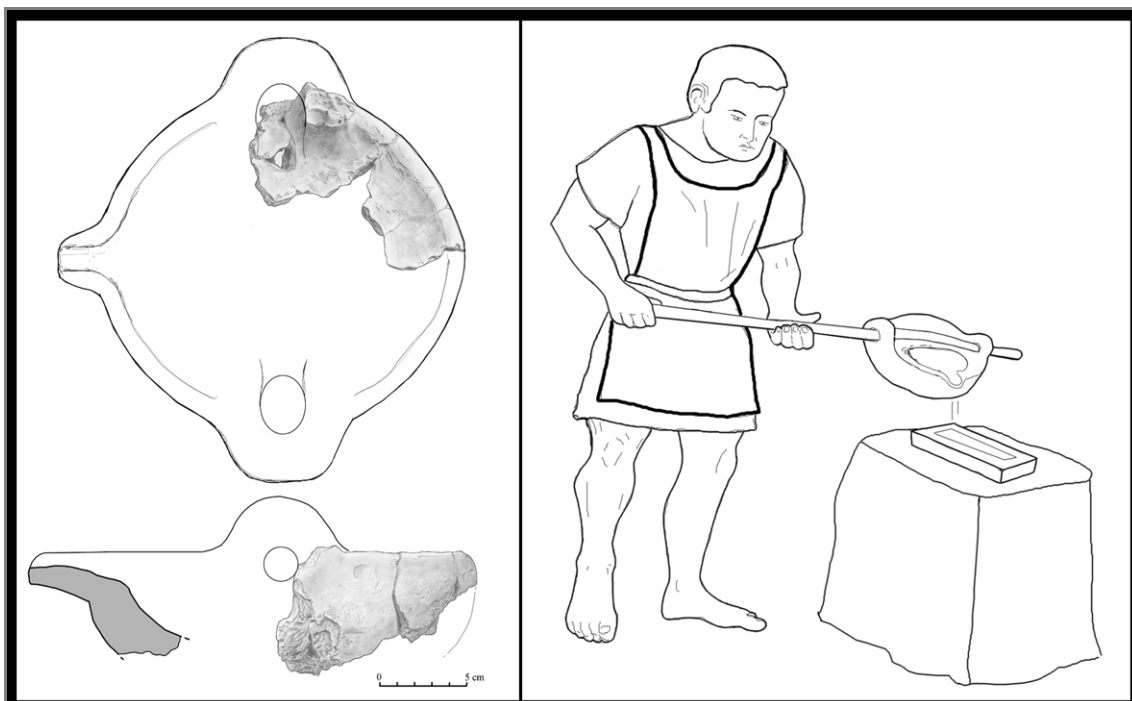


Fig. 8.21. Posible reconstrucción de una vasija metalúrgica dotada de asas o anillos de empuñadura y de su uso en una operación de vertido del caldo metálico. Dibujos realizados por Félix García Díez.

De hecho, se ha supuesto también que estas vasijas estarían dotadas de piqueta, un elemento que cobra una especial importancia en el caso de que se trate de crisoles de fundición ya que permitiría un vertido más preciso de la colada metálica.

Para otros fragmentos no parece poderse proponer la misma reconstrucción; según se aprecia en la parte conservada, estos ejemplares sugieren la existencia de un tipo distinto de vasija metalúrgica que estaría dotada de un único anillo de enmangue, en el que la orientación de la perforación central permitiría una inserción oblicua de una vara o de algún otro elemento que pudiera servir de mango (Fig. 8.22a-b).

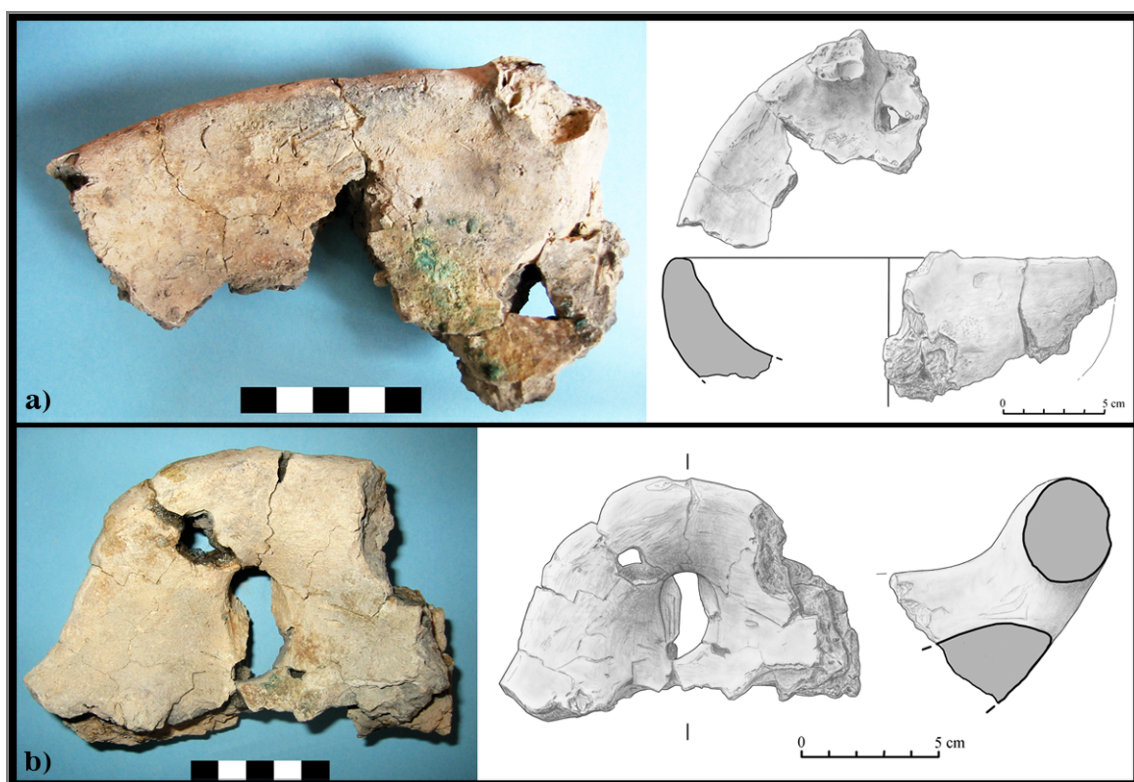


Fig. 8.22. Vasijas metalúrgicas de La Fonteta con un único anillo de enmangue, Grupo 6: a) F41409; b) F41410. Dibujos realizados por Félix García Díez.

Sin embargo, en ninguno de los dos casos tenemos evidencia concreta de que se trate de vasijas para fundir metal y no para la reducción de minerales. Estaríamos, por tanto, ante una vasija metalúrgica con un único elemento de enmangue colocado en el borde y, probablemente, en el lado opuesto respecto al pico vertedor, en el caso de que éste estuviera presente.

Hasta la fecha, no se ha documentado ninguna vasija metalúrgica que presente estos dos tipos de sistemas de enmangue y/o sujeción. Sin embargo, ya desde el Bronce

Antiguo en la Península Ibérica se conocen varios ejemplares de vasijas con distintos elementos para insertar un mango, generalmente una especie de cubo con una perforación central o una base desarrollada con perforación lateral. Una excepción estaría constituida por un ejemplar de perfil cónico de Can Roqueta II fechado en la primera mitad del II milenio a.C. (Rovira Hortalà *et al.* 2007: 507); esta vasija presenta un rebaje cuadrangular en un lateral de la pieza que también serviría para introducir un mango y facilitar el manejo del recipiente.

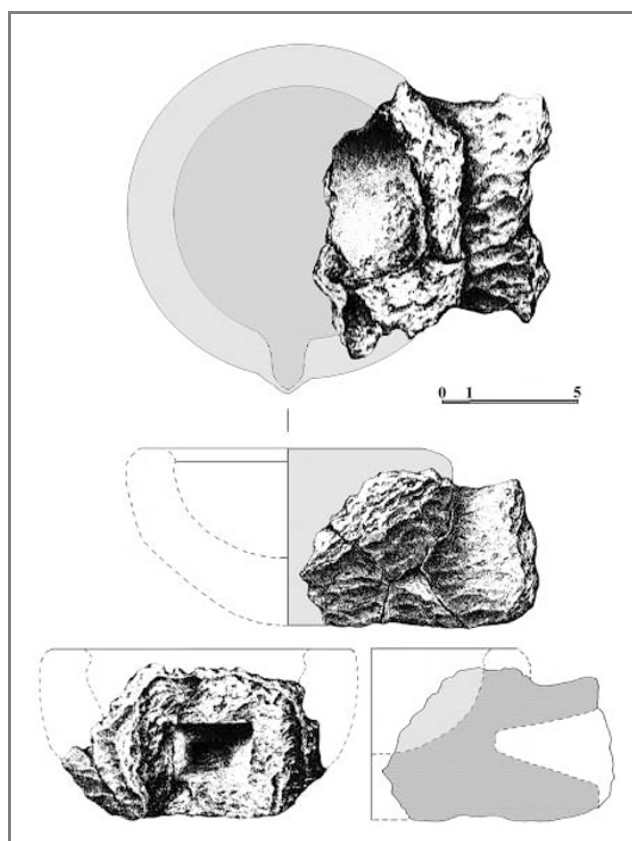


Fig. 8.23. Vasija de reducción del Cerro de la Mora (Granada), según Carrasco y Pachón 2006.

De todos modos, debido al tamaño reducido de la mayoría de los ejemplares conocidos de este tipo de vasija, no siempre se puede reconstruir su forma original, ya que a menudo se conserva solamente parte del elemento para el enmangue. Éste es el caso del ejemplar procedente del poblado de Cerro de la Mora en provincia de Granada, fechado entre finales del II milenio y principios del I milenio a.C. (Carrasco y Pachón 2006). Se trata de una vasija metalúrgica con una protuberancia para el

enmangue que sobresale de aproximadamente 2 cm desde uno de los lados, con una ligera curvatura hacia arriba, y presenta una perforación central de forma cuadrangular en la que se insertaría el mango propiamente dicho (Fig. 8.23).

Otra vasija de este tipo fue recogida en un yacimiento del Bronce Final-inicios de la Edad del Hierro, Las Camas (Villaverde), en la provincia de Madrid (Urbina *et al.* 2007). Este recipiente tiene enmangue horizontal: se trata de una especie de cubo con un ligero ensanche y una perforación central de forma cuadrangular y de 1 cm de tamaño para la inserción de una varilla. El cubo de enmangue tiene sección de tendencia

circular con aproximadamente 3 cm de diámetro y 4 cm de longitud. Se conserva sólo una porción reducida de la vasija y no se puede reconstruir su forma original, aunque parece tratarse de un pequeño casquete hemisférico. No se ha podido determinar la eventual presencia de un pie y/o piqueta; su diámetro de boca mide alrededor de 8 cm (Fig. 8.24).

S. Rovira Llorens (2007) realizó un estudio analítico por ED-XRF y por SEM-EDX de la escoriación interna de este recipiente y se trata de una vasija de reducción empleada en operaciones de obtención de bronce binario por co-reducción de minerales de cobre con casiterita.



Fig. 8.24. Vasija de reducción de Las Camas (Villaverde, Madrid), según Urbina *et al.* 2007. Medidas en el texto.

Se han documentado vasijas metalúrgicas con enmangue también en otros yacimientos de la Península Ibérica. Un ejemplar procede del Cerro de San Cristóbal (Logrosán) en la provincia de Cáceres (Rodríguez *et al.* 2001); dos de la Peña la Dueña (Teresa) en la provincia de Castellón (Simón 1996), tres del poblado de Minferri (Juneda, Lleida) y algunos ejemplares fueron recogidos en dos yacimientos portugueses: Entre Águas 5 (Brinches, Serpa) y Martes (Redondo), ambos en el Alentejo (Rebelo *et al.* 2009; Calado y Mataloto 2001). Sin embargo, hasta ahora sólo algunas de las escoriaciones adheridas a estas vasijas han sido objeto de estudios analíticos, la que procede del Cerro de San Cristóbal y los dos fragmentos recogidos en Entre Águas 5.

El ejemplar del Cerro de San Cristóbal está fechado en el Bronce Final y corresponde a un fragmento en el que se aprecia parte del cubo de enmangue con una

perforación central que parece tener forma circular u ojival (Rodríguez *et al.* 2001: 18) (Fig. 8.25a). Los autores han realizado análisis de la escoriación de la vasija utilizando un microanalizador de sonda electrónica y un microscopio electrónico de barrido (Rodríguez *et al.* 2001: 29-42). Los resultados indican que esta vasija fue empleada para producir una aleación de bronce por cementación de cobre metálico con casiterita.

Los dos fragmentos de vasijas encontrados en el yacimiento de Entre Águas 5 (Serpa), que presentan cubo de enmangue con perforación cuadrangular central (Rebelo *et al.* 2009) (Fig. 8.25b), están recubiertos por una espesa capa de escoriación que ha sido analizada por ED-XRF y por SEM-EDX.¹ Los resultados obtenidos, como para el ejemplar procedente del Cerro de San Cristóbal, documentan que la vasija fue utilizada para la producción de bronce mediante cementación de cobre metálico con casiterita.

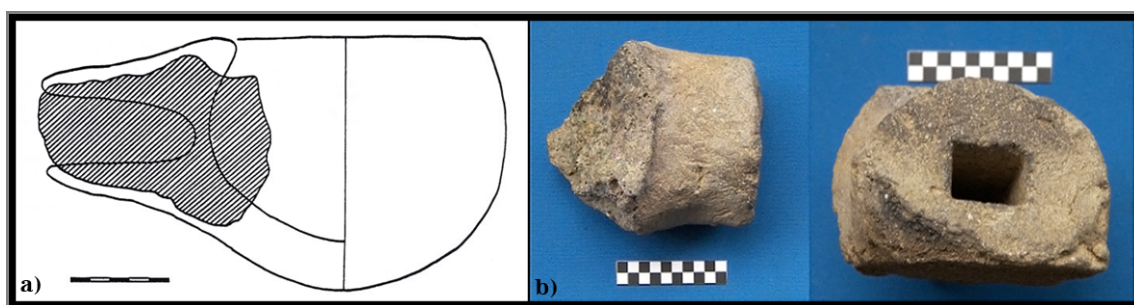


Fig. 8.25. Vasijas metalúrgicas procedentes de: a) el Cerro de San Cristóbal (Logrosán, Cáceres), según Rodríguez *et al.* 2001; b) Entre Águas 5 (Serpa), foto cortesía de A.M. Monge Soares.

En resumen, hasta ahora todos los estudios analíticos de las escoriaciones adheridas a las vasijas con enmangue apuntan a que se estaban empleando para producir bronce binarios mediante co-reducción de minerales o mediante procesos de cementación. Por tanto, ante la falta de ejemplares completos, se podría suponer que este tipo de recipiente no estuviera dotado de piqueta; la presencia de pico vertedor cobraría más sentido en el caso de tratarse de crisoles de fundición, ya que favorecería el vertido del caldo metálico. Por el contrario, el uso de un sistema de enmangue se puede justificar en todos los procesos metalúrgicos en los que se requiera sacar la vasija del fuego, y la inserción de un mango permitiría manejarla más fácilmente.

¹ Ver nota n. 2.

Dentro del Grupo 6 de La Fonteta, hay que hacer una última mención a un ejemplar que podría diferenciarse de los otros elementos de sujeción o enmangue descritos anteriormente. Se trata de un fragmento (F50264) en el que se aprecia el arranque de una pequeña asa con sección de tendencia triangular (Fig. 8.26) y que no parece ser del mismo tipo que las demás asas encontradas, pudiendo tratarse de un pequeño apéndice usado para facilitar la sujeción del recipiente. En ámbito peninsular, este tipo de recipiente tendría como paralelo más cercano, aunque de cronología más antigua, una vasija metalúrgica en forma de cuenco hemisférico que presenta una asa de tipo mamelón y procede del yacimiento argárico de El Pic de les Moreres (Crevillente), en la provincia de Alicante (González Prats 1986; Simón 1996).

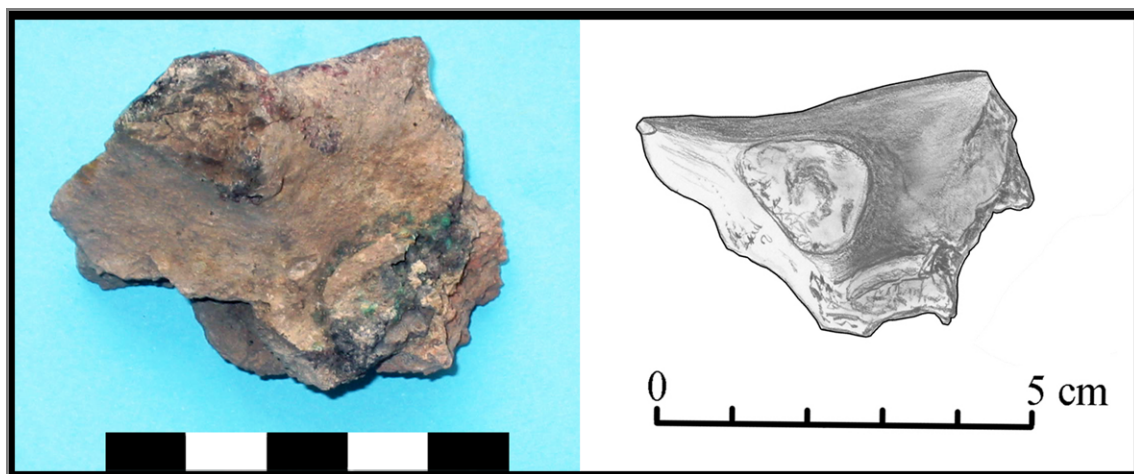


Fig. 8.26. Vasija metalúrgica de La Fonteta con arranque de una pequeña asa de sección triangular. Dibujo realizado por Félix García Díez.

De acuerdo con la descripción que se proporciona en Keesmann *et al.* (1989: 101-102), es posible también que una vasija con este tipo de asa proceda del yacimiento de Toscanos (Vélez, Málaga), aunque no se puede determinar con seguridad ya que no se publica ni la foto ni el dibujo de la pieza. Se trata de un fragmento de pared gruesa perteneciente a un recipiente cerámico hecho a mano con una escoriación cobriza, que fue encontrado delante de una estructura de combustión. Los autores así describen la pieza: “El hombro de esta vasija está adornado con un listón de entalladuras y con una aplicación simple abultada como asa” (Keesmann *et al.* 1989: 102).

Fuera de la Península Ibérica, se han documentado algunas vasijas que presentan una especie de asa en algunas tumbas de metalúrgicos en Rusia, fechadas en la segunda mitad del III-principios del II milenio a.C. Dos ejemplares han sido encontrados en el Túmulo 8 de la necrópolis de Kalinovka (San Petersburgo); tienen forma de tendencia

rectangular y están dotadas de pequeñas protuberancias en los lados que, según recoge Mohen (1991), podrían haber servido de asas para manejar más fácilmente el recipiente. Este autor propone la misma interpretación para los apéndices presentes en algunos ejemplares procedentes de la Tumba 7 del Túmulo 2 de Malaya Ternovka (Ucrania).

Un caso parecido es el de algunas vasijas procedentes de Mozartstrasse (Zurich) y de cronología más antigua (IV milenio a.C.). Se trata de vasijas que presentan un elemento aplanado tipo “lengüeta” que sobresale horizontalmente del borde del vaso formando un “mango” –en algunos casos de forma elipsoidal y en otros cuadrangular–, cuya longitud puede variar según el tamaño de las piezas (Fasnacht 1991). De todos modos, no parece ser una tipología común, probablemente debido a la mayor facilidad de manejo de la vasija mediante sistemas de enmangue más elaborados como los que se han descrito antes.

El **Grupo 7** incluye las vasijas de uso metalúrgico que presentan pie desarrollado. La primera variante, **Grupo 7A**, corresponde a vasos de tendencia circular y abiertos de boca, mientras que el **Grupo 7B**, aunque presente igualmente boca circular, corresponde a formas más cerradas, con cuerpo tipo “cubilete”. Actualmente, ambas variantes están representadas en La Fonteta por un único ejemplar.

Al Grupo 7A se ha asignado una vasija que conserva la mitad de su sección (Fig. 8.27); presenta una altura de 8 cm y un pie cuyo grosor es de aproximadamente 4 cm. El borde es de tipo biselado y tiene paredes finas, de 8,5 mm de espesor; el diámetro de la boca ronda los 20 cm. La vasija fue fabricada con pasta cerámica del tipo rojizo. Por el tipo de borde y el grosor de las paredes, este ejemplar podría haberse incluido en el Grupo 3A pero, al ser el único fragmento de borde biselado que permite reconstruir la forma original de la vasija, se ha preferido clasificarlo en un grupo aparte.

El ejemplar atribuido a la variante 7B sólo conserva el arranque del pie y parte de la pared, faltando el borde y el resto de la base (Fig. 8.28). El cuerpo de la vasija tiene una altura máxima conservada de 12,5 cm, con una profundidad de alrededor de 4,5 cm y un pie de 4 cm aproximadamente; las paredes son especialmente gruesas, rondando los 30-35 mm. Se utilizó arcilla clara para su fabricación.

Debido al reducido tamaño de los otros dos fragmentos encontrados, que sólo conservan parte del pie y no permiten reconstruir el desarrollo del cuerpo de la vasija, no han podido ser asignados claramente a ninguna de las dos variantes, habiéndose

incluido genéricamente en el Grupo 7. Las características y las medidas de los fragmentos que forman este Grupo 7 se resumen en la Tabla 8.8.

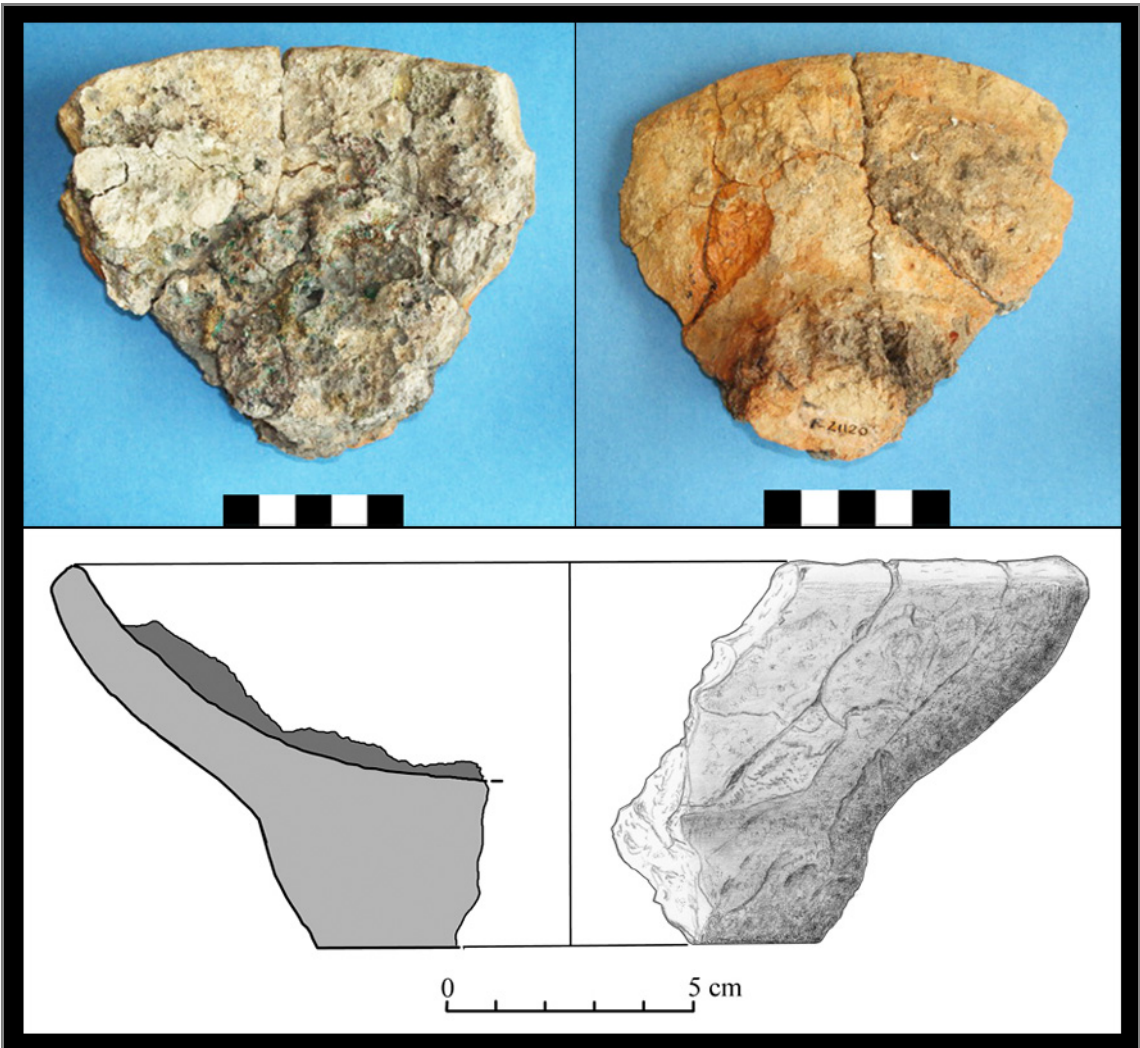


Fig. 8.27. Vasija de La Fonteta perteneciente al Grupo 7A: F21120. Dibujo realizado por Félix García Díez.

N. Inv.	Grupo	Diám.	Grosor del borde	Tipo de borde	Características	Pasta
F21120	7A	20 cm	8,5 mm	biselado (de paredes finas)	se conserva la mitad de la vasija y el pie está casi completo. Tiene una altura de 8 cm; el grosor del pie es de 4 cm aprox.	rojiza
F41324	7B	nr	nr	paredes muy gruesas (30-35 mm)	se conserva parte del cuerpo de la vasija (sin borde) y el arranque del pie. Tiene una altura máxima conservada de 12,5 cm con una profundidad de 4,5 cm	clara

N. Inv.	Grupo	Diám.	Grosor del borde	Tipo de borde	Características	Pasta
F31045	7	nr	nr		pie desarrollado de aproximadamente 3,5 cm de altura	clara
F62059	7	nr	nr		se conserva sólo parte del pie	clara

Tabla 8.8. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 7 (nr: no reconstruible).

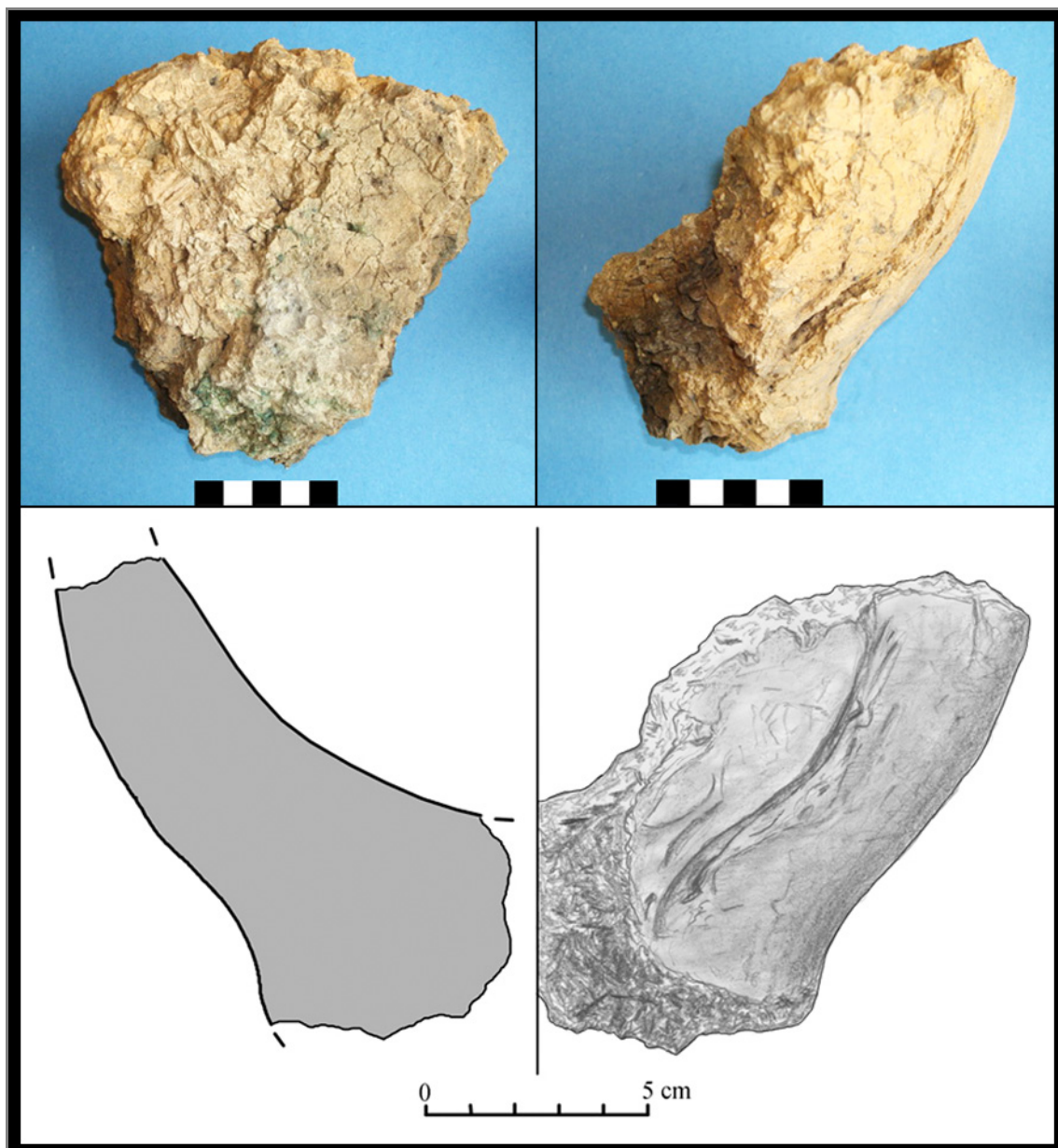


Fig. 8.28. Vasija de La Fonteta perteneciente al Grupo 7B: F41324. Dibujo realizado por Félix García Díez.

Un ejemplar con características similares a las del Grupo 7, en particular a la variante 7A, ha sido documentado en el yacimiento del Bronce Inicial de Can Roqueta

II (Sabadell, Barcelona). Se trata de una pequeña vasija metalúrgica en forma de copa con un pie troncocónico desarrollado, que presenta un diámetro de boca de 11 cm y una altura de 7,5 cm, con una profundidad interna de sólo 2,2 cm (Rovira Hortalà 2006; Rovira Hortalà *et al.* 2007).

Actualmente, no se conocen ejemplares que puedan constituir paralelos directos para el tipo de vasija con pie desarrollado y cuerpo en forma de cubilete que corresponde a la variante 7B de este grupo.

El **Grupo 8** corresponde a las vasijas con cuerpo en forma de “cubilete” y fondo plano (Tabla 8.9). También en este caso, como para el Grupo 6, se han identificado numerosos ejemplares atribuibles a esta tipología (doce fragmentos), aunque es posible que el número sea menor ya que tres de estos fragmentos (F21124, F31126 y F31127) podrían pertenecer a la misma vasija: el color y las características de la pasta cerámica, el grosor de las paredes, el tipo y el escaso espesor de la escorificación sugieren que se trate de un único vaso (Fig. 8.29). Lo mismo podría decirse para otros dos fragmentos (F41630 y F41631) que parecen ser parte del fondo de la misma vasija aunque no encajen.

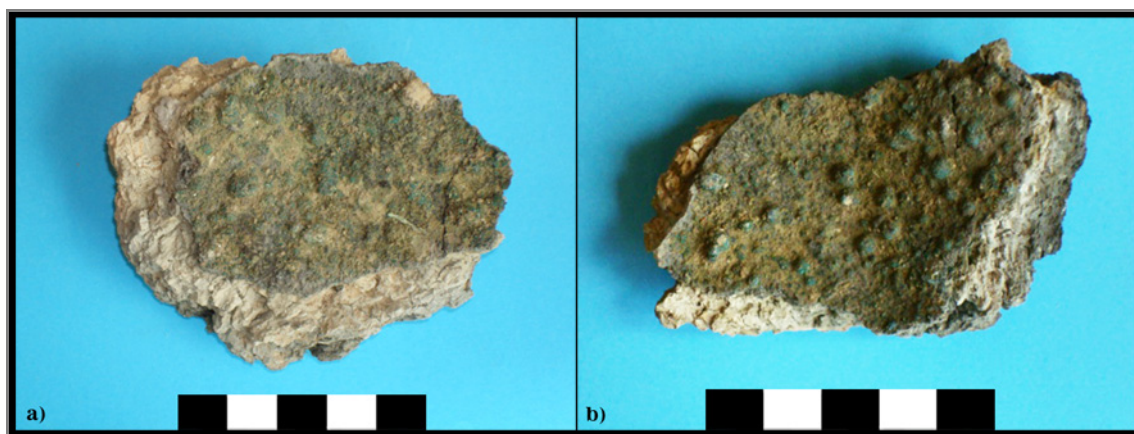


Fig. 8.29. Fragmentos de vasijas metalúrgicas de La Fonteta posiblemente pertenecientes al mismo recipiente, Grupo 8: a) F21124; b) F31127.

Sólo en un caso (F41525) se ha encontrado media sección de una vasija, permitiendo reconstruir el desarrollo del cuerpo. Las paredes presentan una marcada curva central que se va adelgazando y cerrándose hasta llegar al borde (Fig. 8.30), del cual se conserva solamente una porción muy reducida. Éste es del tipo apuntado y es

relativamente fino, con un espesor de 9 mm. El diámetro de boca que se ha podido reconstruir estaría alrededor de 14 cm.



Fig. 8.30. Vasija de La Fonteta perteneciente al Grupo 8: F41525. Dibujo realizado por Félix García Díez.

En este grupo se ha identificado también un fragmento de vasija que presenta indicios evidentes de usos repetidos (F31204). Se trata de parte de un fondo en el que se aprecian distintas capas superpuestas de escoriación (Fig. 8.31). El fondo original de la vasija presentaba una fina escoriación cobriza, que fue recubierta por un lecho de

arcilla de aproximadamente 1 cm de grosor. Esta nueva base sirvió para sucesivas operaciones metalúrgicas que llevaron a la formación de una gruesa capa de escoria.



Fig. 8.31. Fragmento de fondo de vasija de La Fonteta perteneciente al Grupo 8: F31204.

Los demás fragmentos corresponden a restos de vasijas que presentan parte del fondo y, en algunos casos, conservan el arranque o pequeños restos de pared (Fig. 8.32a-d).



Fig. 8.32. Fragmentos de vasijas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 8: a) F31214; b) F41577; c) F55012; d) F62079.

De estos fragmentos destaca la variedad de las bases, los distintos tamaños y grosores de las vasijas.

En todos los casos para su fabricación se empleó pasta cerámica del tipo claro, con la excepción de una vasija de manufactura muy tosca y aparentemente de paredes gruesas para la que se utilizó arcilla rojiza (Fig. 8.32d).

Para este grupo de vasijas, no se ha podido identificar ningún paralelo directo. Se conocen distintos tipos de vasija con fondos planos pero, generalmente, el desarrollo del cuerpo del vaso suele ser de tipo ancho como, por ejemplo, en una vasija metalúrgica recogida en el yacimiento sevillano de Setefilla (Lora del Río) (Aubet *et al.* 1983: 79, fig. 30, n. 134) o en algunos de los crisoles procedentes del yacimiento francés de la Edad del Bronce de Fort-Harrouard en Sorel-Moussel, Eure-et-Loir (Queixalos *et al.* 1987). Como menciona Mohen (1992: 121), crisoles de fondo plano y cuerpo estrecho se suelen documentar en épocas tardías, principalmente a partir de época medieval, aunque se han registrado algunas vasijas de este tipo en épocas más antiguas. Por ejemplo, un fragmento de crisol procedente de Mozartstrasse (Zurich) y fechado en el IV milenio a.C., tiene fondo plano y, por el desarrollo de las paredes, parece corresponder a una forma cerrada, tipo vaso (Fasnacht 1991: 163; Mohen 1992: 87). Se conocen también unos pocos ejemplares de paredes oblongas asignados a contextos de la Edad del Bronce en Escandinavia o en el ya mencionado yacimiento de Fort-Harrouard (Mohen 1992). A época romana pertenece un crisol procedente de Godmanchester (Reino Unido), correspondiente al tipo B2 de la clasificación de Tylecote (1976: 20), que presenta el desarrollo del cuerpo de tendencia globular y el fondo de dimensiones más reducidas respecto a la boca. El único ejemplar de La Fonteta con perfil casi completo (Fig. 8.30) también presenta cuerpo ligeramente globular pero, a diferencia del crisol de Godmanchester, el diámetro estimado de la boca es similar al del fondo.

En síntesis, las distintas vasijas de uso metalúrgico encontradas en La Fonteta presentan un repertorio morfológico muy variado y algunos ejemplares corresponden a tipologías evolucionadas, con bases desarrolladas, picos vertedores o sistemas de sujeción y enmangue. Generalmente, están fabricadas a mano con pastas cerámicas obtenidas con arcillas claras o de color rojizo mezcladas con desgrasantes vegetales o minerales, como cuarzo y/o calcita.

N. Inv.	Grupo	Diámetro	Grosor del borde	Tipo de borde	Características	Pasta
F21124	8	nr	nr		pared con fondo. Podría ser parte del mismo crisol al que pertenecerían también otros fragmentos (F31126 y F31127)	clara
F31126	8	nr	nr		pared. Podría ser parte del mismo crisol al que pertenecerían también otros fragmentos (F21124 y F31127)	clara
F31127	8	nr	nr		pared con curva marcada que corresponde a la zona entre el fondo y la parte superior de la vasija. Podría ser parte del mismo crisol al que pertenecerían también otros fragmentos (F21124 y F31126)	clara
F31204	8	nr	nr		fondo de vasija en el que se aprecian las distintas capas de escoriación	clara
F31214	8	nr	nr		fondo con arranque de pared	clara
F41525	8	14 cm	9 mm	apuntado (con engrosamiento)	se conserva la mitad de la vasija y la mitad del fondo. Mide 7 cm de altura con una profundidad interna de 6 cm aprox.	clara
F41577	8	nr	nr		fondo	clara
F41630	8	nr	nr		fondo; probablemente es parte del mismo crisol al que pertenece el fragmento F41631	clara
F41631	8	nr	nr		fondo; probablemente es parte del mismo crisol al que pertenece el fragmento F41630	clara
F50271	8	nr	nr		fondo	clara
F55012	8	nr	nr		fondo, cerámica de manufactura tosca	rojiza
F62079	8	nr	nr		fondo con arranque de pared	clara

Tabla 8.9. Tabla-resumen de las principales características de las vasijas metalúrgicas de La Fonteta pertenecientes al Grupo 8 (nr: no reconstruible).

A menudo las paredes del recipiente presentan grosores y desarrollo irregulares; los acabados de las caras internas no suelen ser muy refinados, aunque en algunas ocasiones se han documentado superficies alisadas y espatuladas. La mayoría de los ejemplares encontrados tienen boca de tendencia circular y los diámetros varían entre 10 y 22 cm; el grosor de las paredes también es bastante variable y está comprendido entre 6 y 25 mm.

Dentro de esta variabilidad de tamaño se detecta una clara correlación positiva entre el diámetro y el grosor de las paredes de estas vasijas: a mayor diámetro de boca corresponde un mayor grosor de pared. Sin embargo, el incremento en el diámetro de boca es menor en el grupo de las cerámicas gruesas, ya que como se puede apreciar en el gráfico de la figura 8.33, la pendiente de regresión es más acentuada comparada con la del grupo de cerámicas más finas.

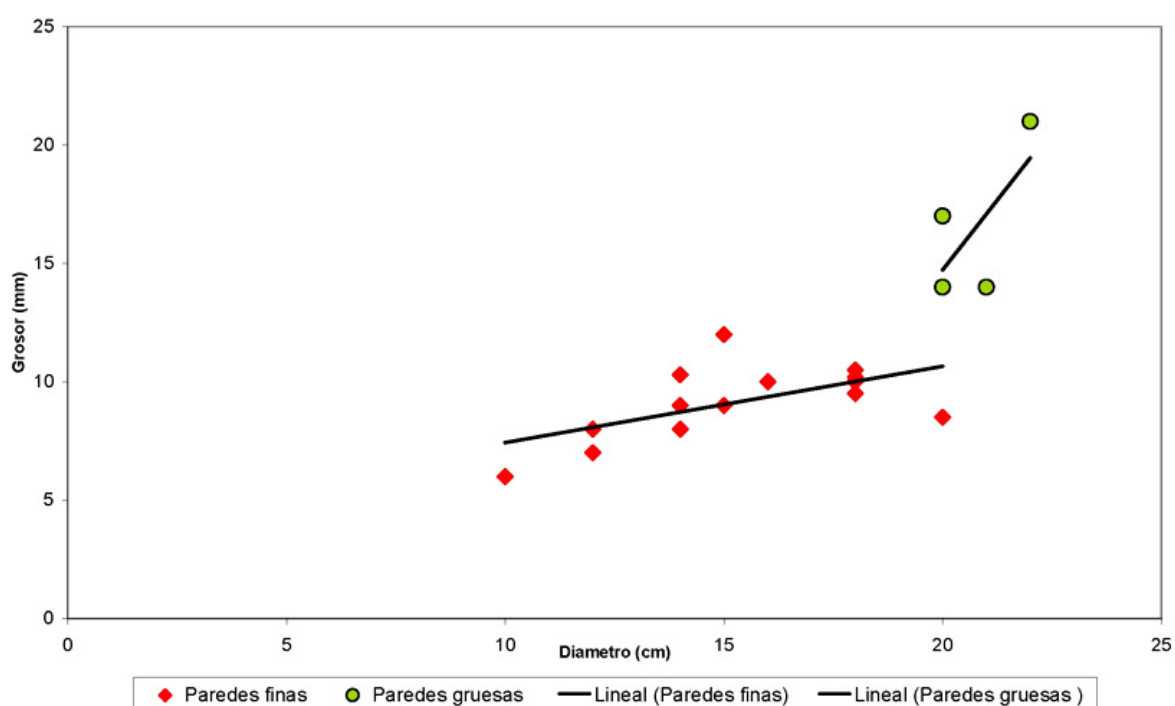


Fig. 8.33. Gráfico que muestra la relación entre el grosor de las paredes y el diámetro de las vasijas de La Fonteta.

Las medidas de las vasijas de paredes finas generan un valor de coeficiente de correlación muy alto, mientras que en el otro caso la correlación, aunque siga siendo positiva, es claramente menor.

8.2.2 Las escorificaciones en las vasijas de uso metalúrgico de La Fonteta: estudio analítico

Como ya se ha mencionado en la introducción a este capítulo, el estudio analítico de las escorificaciones adheridas a las caras internas de las vasijas de uso metalúrgico nos puede proporcionar información de suma utilidad para determinar en qué tipo de operación metalúrgica fueron empleadas, es decir si se trata de una vasija de reducción de minerales, de un crisol de fundición de metal o, también, de reciclaje de chatarra. Además, nos permite conocer las condiciones de la estructura de combustión en la que se ha trabajado para llevar a cabo estas operaciones.

Generalmente, tanto para las vasijas de reducción como para los crisoles, las escorificaciones suelen encontrarse fuertemente adheridas a la superficie de la cerámica y pueden llegar a formar cuerpo único con la vasija, produciendo capas con distintos grados de vidriado entre la cerámica y la escorificación propiamente dicha (Rovira Llorens y Ambert 2002).

Las vasijas de reducción suelen presentar capas de escorificación más gruesas; sus fases estructurales y su composición mineralógica son más complejas en relación a la de los crisoles, caracterizándose por una marcada heterogeneidad. Se trata de materiales generalmente ricos en sílice y que están formados por la reacción a elevadas temperaturas de la misma vasija con las cenizas, los elementos aportados por el suelo o el entorno y los componentes de la ganga del mineral.

La matriz de estas escorificaciones puede estar constituida por un vidrio o silicatos complejos y raramente suele llegar a formarse una escoria fayalítica. Por tanto, los elevados puntos de fusión de los silicatos que forman la matriz hacen que la escoria no llegue a licuarse del todo, produciendo un material escoriáceo de alta viscosidad en el que, a menudo, se aprecian numerosas perlas metálicas atrapadas en su interior o relictos de mineral parcialmente reducido.

En el caso de los crisoles de fundición, las escorificaciones suelen presentar textura y composición más homogénea y están formadas principalmente por la reacción de la vasija con el metal en estado líquido, correspondiendo a capas de vidriado que pueden presentar distintos grados de penetración en la cerámica. Un vidriado con una reacción más o menos fuerte produce capas de escorificación de mayor o menor potencia (Rovira Llorens 2005b).

De acuerdo con estas diferencias microestructurales y composicionales entre las escorificaciones adheridas a las vasijas de reducción y a los crisoles, el estudio analítico de algunos ejemplares de La Fonteta ha permitido realizar una clasificación de su uso en las diferentes operaciones metalúrgicas.

Se han seleccionado 23 fragmentos de vasijas con escorificación adherida para su análisis por fluorescencia de rayos X (ED-XRF); los resultados obtenidos indican que estos recipientes fueron utilizados tanto para la producción de cobre como de sus aleaciones: bronce, bronce ternario y cobre-plomo. Pero, en la interpretación de los datos debemos tener en cuenta que el análisis superficial ofrece una sobrevaloración de los contenidos de estaño y plomo en relación a la proporción de cobre y no señalan la composición real de las aleaciones².

Siete de los fragmentos seleccionados están vinculados a la producción de cobre sin alear, aunque dos de ellos es posible que formen parte de una misma vasija (F21124 y F31127), como sugiere también la composición del material escoriáceo que presenta unas cantidades similares de todos los elementos detectados sin ninguna diferencia significativa (Tabla 8.10).

Gran parte de estos fragmentos presenta estaño y plomo como elementos minoritarios o, en algunos casos, como impurezas. Las tasas de estaño oscilan entre 0,02% y 0,9% Sn, estando mayoritariamente alrededor del 0,1% Sn. La presencia de plomo es mayor: en cuatro de los fragmentos está alrededor del 0,5% Pb, en un caso ronda el 1,3% Pb y en otro el 2,5% Pb; sólo en un fragmento no se ha detectado plomo.

Para las dos muestras que presentan tasas elevadas de este elemento (F41374 y F62030), mayores del 1% Pb, se ha supuesto que pudiera tratarse de materiales resultantes de la obtención de masas metálicas de cobre-plomo pero, como se verá más adelante, estos dos fragmentos han sido objeto también de análisis SEM-EDX en los que se ha podido observar cómo el plomo detectado por ED-XRF corresponde a impurezas del mineral original, que tuvo que ser de tipo polimetálico. Lo mismo vale para los contenidos de estaño y, en algunas ocasiones, podría explicar también la detección de cantidades elevadas de hierro, como por ejemplo en el fragmento F41374 en el que hay más de un 1,5% Fe (y no es casualidad que sea una de las dos muestras

² En algunos casos no ha sido posible efectuar estos análisis sobre las muestras cortadas sino sólo sobre los fragmentos enteros, cuyas concreciones superficiales explicarían la presencia de determinados elementos y la detección de otros en cantidades mayores o menores con respecto a su contenido real.

ricas en plomo), un contenido que difícilmente podría explicarse como contaminación terrosa adherida a la superficie del fragmento, aunque sí podría ser compatible con la composición de una cerámica vidriada.

Entre las otras impurezas presentes en estas muestras, en un caso destaca un 0,27% de antimonio, ya que el resto suele presentar proporciones inferiores al 0,01% Sb, y en cuatro fragmentos se ha detectado también plata pero en cantidades bajas: en tres de ellos de 0,01-0,02% Ag y en el otro de 0,006% Ag (Tabla 8.10).

Otros cinco de los fragmentos estudiados por ED-XRF corresponden a restos de vasijas empleadas para la producción de cobres plumados (Tabla 8.10). Aquí los contenidos de estaño varían entre 0,01% y 0,9% Sn, mientras que los de plomo van del 3,2% Pb hasta casi el 30% Pb.

Contenidos apreciables de hierro, mayores del 1% Fe, se han detectado en dos muestras y es interesante notar que en uno de estos casos el porcentaje más elevado de hierro coincide con la mayor tasa de estaño detectada (0,9% Sn). Se trata de nuevo de un fragmento (F41577) analizado también por SEM-EDX y en el cual la composición de sus fases minerales puede relacionarse directamente con el tipo de mineral empleado que, en este caso, presentaba cierta riqueza en plomo; por tanto el metal resultante habría sido una masa metálica cobre-plomo y no sólo un cobre con impurezas de plomo. Es posible que éste sea también el caso del fragmento F62079 que presenta un 1,05% de hierro, pero esta muestra no ha sido objeto de otros análisis que permitan confirmarlo.

Con respecto a la presencia de antimonio y plata, una muestra tiene un 0,14% Sb (en otros tres fragmentos el contenido es inferior al 0,01% Sb) y se han detectado impurezas de plata (0,01-0,02% Ag) en algunos de los fragmentos estudiados.

De las otras once muestras seleccionadas, seis pertenecen a vasijas usadas para la producción de bronce binario mientras que las restantes cinco presentan escoriificaciones con una composición que apunta a la producción de bronce ternario (Tabla 8.10). En los bronce binarios las tasas de plomo están siempre por debajo del 0,7% Pb, mientras que en cuatro muestras se ha detectado un contenido apreciable de hierro, del orden del 1,1-1,5% Fe. En todos los fragmentos hay impurezas de plata (0,008-0,017% Ag) y de antimonio (0,004-0,032% Sb).

En los bronce ternarios, la presencia de elementos detectados como impurezas es similar a la de los bronce, habiéndose encontrado plata (0,007-0,02% Ag) y antimonio (0,005-0,03% Sb) en todos ellos.

En la Tabla 8.10 se han ordenado los resultados ED-XRF de la composición elemental de los materiales analizados según el tipo de producción metalúrgica al que se vinculan y se han puesto en relación con las características principales de las escoriaciones (su grosor y aspecto, según un simple examen visual) y con la tipología de vasija a la que pertenece.

Partiendo de la premisa de que escoriaciones más gruesas se podrían relacionar preferentemente con operaciones de metalurgia primaria y las más finas con actividades de fundición, se ha intentado determinar si existe una relación entre el metal o aleación producidos y el grupo de vasija al que pertenece.

Los resultados obtenidos parecen confirmar lo que ya se había supuesto anteriormente, es decir que hasta ahora no hay elementos suficientes para proponer una relación directa entre la tipología de los recipientes y su uso preferente en determinados procesos metalúrgicos. De hecho, aunque varios de los fragmentos analizados pertenecen a la misma tipología de vasija y corresponden a la producción de un mismo metal, éstos pueden presentar escoriación de distinto tipo como, por ejemplo, en el caso del Grupo 8 de la clasificación de las vasijas de La Fonteta (“cubilete” con fondo plano): cuatro de los siete fragmentos vinculados con la producción de cobre sin alea han sido asignados a este grupo, pero en dos casos la escoriación adherida a las paredes del vaso presenta un grosor significativo que sugiere que se emplearan en procesos de reducción de minerales, mientras que en otros dos casos el escaso espesor y la naturaleza predominantemente metálica de la escoriación indican un uso de estas vasijas en operaciones de fundición (Tabla 8.10). Asimismo, el tipo de escoriación observado en otros fragmentos asignados al Grupo 8 y vinculados con la producción de aleaciones de base cobre tampoco apunta a una elección intencional de determinadas tipologías de vasijas para una función en concreto.

La única excepción podría considerarse el caso de los dos fragmentos asignados al Grupo 5.

N. Análisis	N. Inv.	Grupo	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Pb	Bi	Producción	Notas
PA13104	F41374	3B	1,51	nd	tr	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,49	nd	Cobre	Goterón de escoria; SEM
PA13077B	F62030	4	0,82	nd	3,22	nd	nd	0,021	0,979	0,277	nd	1,31	nd	Cobre	Escorificación medianamente gruesa; SEM
PA13106	F31045	7	0,72	nd	27,05	nd	nd	0,006	0,112	nd	nd	nd	nd	Cobre	Abundantes adherencias metálicas
PA13108	F31127	8	0,85	nd	16,5	nd	nd	nd	0,17	0,008	nd	0,54	nd	Cobre	Escorificación fina; ~ F21124
PA13107	F21124	8	0,67	nd	14,87	nd	nd	nd	0,19	0,008	nd	0,40	nd	Cobre	Escorificación fina; ~ F31127
PA13080	F41525	8	0,70	nd	4,56	nd	nd	0,011	0,142	0,007	nd	0,52	nd	Cobre	Escorificación gruesa
PA13067	F50271	8	0,50	nd	7,18	nd	nd	0,014	0,020	tr	nd	0,42	nd	Cobre	Escorificación gruesa
PA13079	F41549	5	0,09	nd	20,22	nd	nd	0,010	0,222	0,008	nd	19,5	nd	Cobre-plomo	Adherencias metálicas
PA13071	F41547	6	0,21	nd	19,5	nd	nd	0,029	0,60	0,008	nd	10,9	nd	Cobre-plomo	Ligero vidriado y adherencias metálicas
PA13078	F50264	6	0,73	nd	2,84	nd	nd	nd	0,39	0,140	nd	29,4	nd	Cobre-plomo	Vidriado y alguna adherencia metálica
PA12736	F41577	8	1,35	nd	10,14	nd	nd	nd	0,94	nd	nd	11,10	nd	Cobre-plomo	Escorificación gruesa; SEM
PA13069	F62079	8	1,05	nd	4,23	nd	nd	0,012	0,010	0,006	nd	3,98	nd	Cobre-plomo	Escorificación fina
PA13073	F31130	sc	0,39	nd	0,98	nd	nd	0,008	1,30	0,032	nd	nd	nd	Bronce	Escorificación fina; SEM
PA13081	F50299	1A	0,76	nd	1,45	nd	nd	0,015	9,89	0,008	nd	0,20	nd	Bronce	Escorificación fina y otra gruesa (vasija de uso doble)
PA13074	F50161	2A	1,31	nd	1,14	nd	nd	0,011	3,012	0,005	nd	tr	nd	Bronce	Escorificación medianamente gruesa
PA13109	F50165	3A	1,37	nd	0,63	nd	nd	0,014	4,97	0,007	nd	0,33	nd	Bronce	Escorificación medianamente gruesa; SEM
PA13082	F21120	7A	1,11	nd	2,01	nd	nd	0,017	2,81	tr	nd	0,69	nd	Bronce	Escorificación medianamente gruesa
PA13105	F31214	8	1,51	nd	15,82	nd	nd	0,013	7,98	0,004	nd	0,64	nd	Bronce	Escorificación medianamente gruesa
PA13070	F21122	sc	0,22	nd	4,79	nd	nd	0,014	4,045	0,049	nd	51,3	nd	Bronce ternario	Escorificación gruesa; SEM
PA13072	F10085	1A	1,26	nd	3,50	nd	nd	0,019	2,99	0,005	nd	1,56	nd	Bronce ternario	Escorificación medianamente fina
PA13083	F41672	5	0,40	nd	6,10	nd	nd	0,008	8,43	0,030	nd	27,3	nd	Bronce ternario	Ligero vidriado
PA13075	F41324	7B	0,13	nd	2,11	nd	nd	0,007	1,94	0,034	nd	5,40	nd	Bronce ternario	Escorificación fina
PA13113	F31204	8	0,4	nd	26,18	nd	nd	0,020	2,67	0,053	nd	19,2	nd	Bronce ternario	Escorificación gruesa y otra fina (vasija de uso doble); SEM

Tabla 8.10. Resultados ED-XRF (% en peso) de la composición elemental de algunas escorificaciones en vasijas de uso metalúrgico de La Fonteta. La tabla se ha ordenado por tipo de metal o aleación producida y se muestra la correspondiente relación con el grupo de vasijas al que pertenecen los distintos fragmentos analizados (nd: no detectado; tr: trazas; sc: sin clasificar).

Se trata de restos de piquera en los que se ha observado un ligero vidriado de la superficie y alguna adherencia metálica, un tipo de residuo que podría fácilmente relacionarse con procesos de fundido del metal, como además sería de esperar por la presencia de un elemento que nace para facilitar el vertido del caldo metálico.

De todos modos, el muestreo realizado de los distintos tipos de vasija todavía no es suficiente para plantear hipótesis concluyentes, pero los datos actualmente disponibles apuntan a que no existe una “tendencia” en la elección del tipo de vasija en función del uso metalúrgico a la que era destinada. Además, como ya se ha mencionado antes, los resultados obtenidos mediante los análisis por fluorescencia no proporcionan la información necesaria para distinguir entre los distintos tipos de subproductos metalúrgicos, es decir que es necesario recurrir a la observación de las fases minerales y metálicas presentes en estas escoriificaciones para saber si estamos ante una vasija empleada en operaciones de reducción de minerales, de fundición de metales o de preparación de aleaciones. Por tanto, se han seleccionado algunos de los fragmentos estudiados por ED-XRF para su observación y análisis por SEM-EDX.

Se trata de siete ejemplares correspondientes a distintos tipos de la clasificación de vasijas de La Fonteta (véase la Tabla 8.10) y vinculados con las diferentes producciones metalúrgicas documentadas en el yacimiento.³ Los resultados obtenidos han permitido relacionar tres de estos fragmentos a operaciones de obtención de bronce –en dos casos se trata de bronce ternarios– mediante procesos de cementación de masas metálicas con casiterita; un fragmento ha sido vinculado a la producción de una aleación de bronce a partir de cobre y estaño metálicos; otro a la obtención de cobre a partir de minerales polimetálicos, mientras que el análisis de los últimos dos fragmentos no ha permitido determinar con seguridad si se trata de subproductos resultantes, como en el caso anterior, de la obtención primaria de cobre o si se formaron durante operaciones de afino de este metal.

Sobre su procedencia dentro del yacimiento, tres de los fragmentos estudiados proceden del Corte 5N y los cuatro restantes han sido recogidos en el Corte 54-1; todos pertenecen a la fase II del yacimiento (FA), a excepción de un único fragmento que ha sido asignado a la fase I.

³ Los resultados analíticos de este estudio se presentan en fichas individuales para cada muestra en el Anexo a esta Tesis.

Desde el punto de vista analítico, en general las muestras presentan una microestructura y composiciones bastante distintas entre ellas, pero se han podido



Fig. 8.34. Fragmento de vasija F21122 de La Fonteta.

observar algunas similitudes entre los fragmentos de vasijas empleadas en los procesos metalúrgicos destinados a la producción de un mismo metal o aleación. Por ejemplo, los dos fragmentos (F21122 y F31204; Figs. 8.34 y 8.31) relacionados con la producción de bronce ternario por cementación de una masa

metálica de cobre-plomo con casiterita presentan fases estructurales similares. En ambos casos la microestructura es heterogénea y se ha detectado la presencia de silicatos complejos ricos en plomo que constituyen una de las fases estructurales predominantes en estas muestras.

El fragmento F21122 presenta una matriz fundida correspondiente a un vidrio de plomo en el que se han formado unos cristales tabulares de un material cuya composición se aproxima a la del alumoakermanita, un mineral del grupo de la melilita cuya presencia ha sido documentada en varias de las escorificaciones y también en algunas de las escorias de base cobre analizadas (Fig. 8.35).

En el fragmento F31204 la matriz es más compleja y está formada mayoritariamente por los silicatos complejos arriba mencionados (Fig. 8.36).

En ambos fragmentos se ha detectado la presencia de abundantes formaciones globulares compuestas principalmente por óxido de calcio y estaño (Figs. 8.35 y 8.36), en algunos casos acompañados también por silicio y aluminio (compuestos Ca-Sn).

Compuestos de este tipo ya se habían documentado en muchas de las escorias de bronce analizadas y se habían puesto en relación con procesos metalúrgicos para la obtención de aleaciones tanto ternarias como binarias mediante el uso de mineral de estaño (por co-reducción o cementación). Además, con la ayuda de la arqueometalurgia experimental se ha podido comprobar que se trata de compuestos formados artificialmente en la escoria por reacción de la casiterita con silicatos ricos en calcio (Rovira Llorens *et al.* 2009). De hecho, en las dos muestras aquí estudiadas se observa

cómo algunos de estos granos Ca-Sn todavía conservan restos de casiterita englobados (Fig. 8.36).

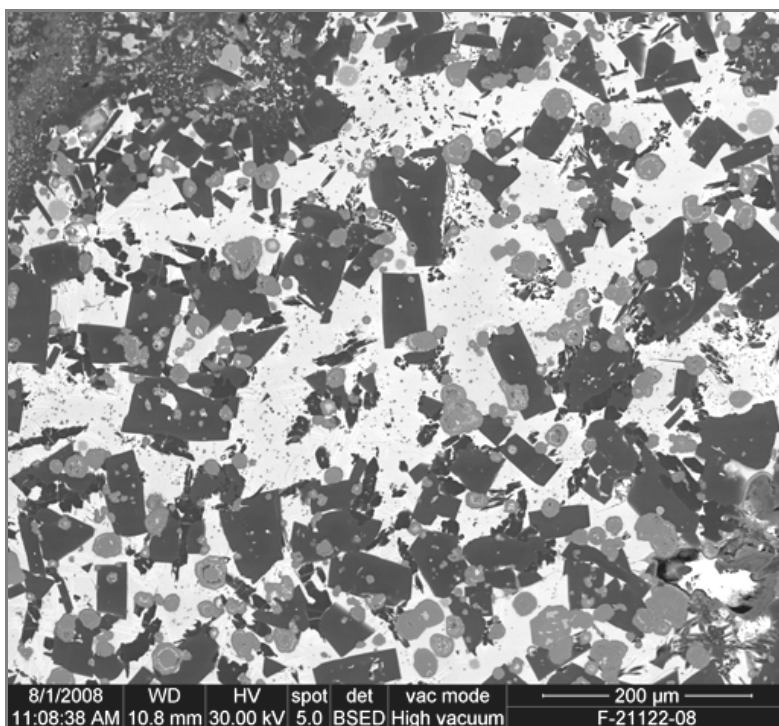


Fig. 8.35. Vista general de la matriz de la muestra F21122. Se observan numerosas formaciones globulares Ca-Sn (de color gris intermedio). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

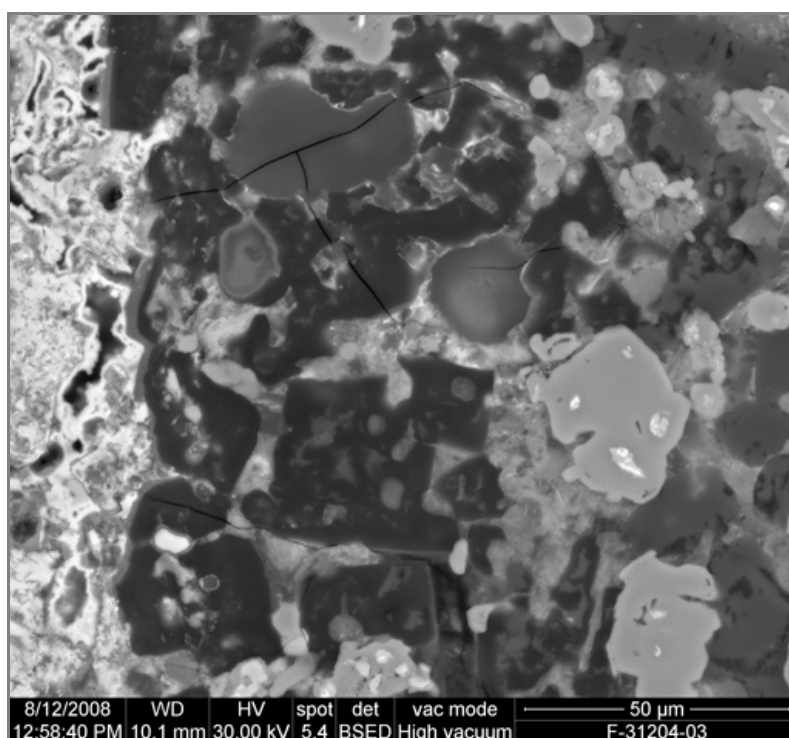


Fig. 8.36. Vista general de la matriz de la muestra F31204. Se observan algunas formaciones Ca-Sn (de color gris intermedio), en algunos casos con restos de casiterita englobados (blanquecinos). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

De la muestra F21122 se ha realizado también un análisis por difracción de rayos X (DRX) para tratar de identificar la naturaleza de los compuestos Ca-Sn y explicar la formación de este tipo de escorias. Sin embargo, los compuestos complejos Ca-Sn no constituyen formas cristalinas por lo que el método analítico no permite identificarlos pero, gracias también a la identificación por XRF⁴ de los elementos que componen la muestra, se han obtenido datos interesantes para determinar el tipo de mineral de estaño posiblemente empleado. En el fragmento analizado se ha detectado la presencia de algunos elementos traza (Nb, Ce, Y, Zr, Sr, etc.) que a menudo se encuentran en los minerales del grupo del pirocloro. Estas mineralizaciones suelen estar presentes en las pegmatitas graníticas, documentadas en varias zonas de España, y pueden estar asociadas a minerales de estaño. De hecho, una de las fases presentes en la escorificación F21122 ha sido identificada por DRX como toreaulita ($\text{Sn}(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_7$), un mineral de estaño con tántalo que a menudo va acompañado también por niobio. Estos minerales de la serie de la foordita-toreaulita ($\text{Sn}^{2+}\text{Nb}_2\text{O}_6\text{-Sn}^{2+}\text{Ta}_2\text{O}_6$) presentan una amplia variabilidad composicional de Ta/(Ta+Nb), con plomo y antimonio como elementos sustitutivos más comunes en la serie. Igualmente, la alteración superficial de estos minerales produce la formación de casiterita y de varios óxidos de niobio y tántalo, dos elementos que pueden considerarse acompañantes habituales de la casiterita. También puede producirse una sustitución local de la foordita-toreaulita por fases alcalinas (Li, Na, K, Cs, Ca)Nb-Ta y formarse pequeñas zonas y vetas irregulares de minerales del grupo del pirocloro, lo que explicaría la presencia de los elementos arriba mencionados (Uher *et al.* 2007). De todos modos, independientemente del tipo de mineral estannífero empleado en La Fonteta, los datos obtenidos nos confirman que no se estaba usando estaño metálico.

Otro dato que merece la pena mencionar es que todas las fases metálicas analizadas en los fragmentos F21122 y F31204 son de cobre-plomo con porcentajes variables de los dos elementos pero en ningún caso se ha detectado la presencia de estaño, es decir no ha llegado a formarse bronce. Es posible que esta situación haya sido debida a un ambiente insuficientemente reductor que no ha permitido la formación de estaño metálico y su aleación con el cobre (en este caso, con el cobre-plomo); y quizás

⁴ Este análisis por XRF ha sido efectuado por Rafael González en los laboratorios del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) de Madrid, empleando un espectrómetro Phillips modelo PW-2424. Para más información véase: <http://www.mncn.csic.es/index.jsp?seccion=1325&id=2010100411030001&activo=12>

la presencia de magnetita detectada por DRX en la muestra F21122 podría constituir un elemento a favor de esta interpretación. No obstante, como ya se había propuesto en el estudio de las escorias de base cobre (Cap. 4), la ausencia de inclusiones de bronce podría ser debida también a que la proporción de casiterita empleada en estos procesos metalúrgicos fuera insuficiente. La composición de los objetos fabricados en esta aleación –que suelen ser broncees pobres, con valores de estaño que normalmente no alcanzan el 8-9% Sn–, podría constituir una evidencia indirecta de la insuficiencia de casiterita en el sistema.

Por tanto, durante la formación de estos materiales escoriáceos, el mineral de estaño reaccionaría con el medio formando los compuestos Ca-Sn sin llegar a reducirse para formar bronce. Sin embargo, actualmente los datos analíticos disponibles no nos permiten determinar con seguridad si la presencia de estos compuestos se puede vincular directamente al uso de un determinado método de producción de bronce (co-reducción *versus* cementación) o si implica solamente el uso de casiterita. En estos dos casos analizados, la ausencia en las muestras de claros relictos de mineral de cobre y la abundante presencia de fases metálicas Cu-Pb, nos lleva a interpretar las dos escorificaciones como resultantes de procesos de cementación de cobre plomado con casiterita.

Entre las muestras estudiadas por SEM-EDX, se ha identificado un tercer fragmento de vasija (F50165; Fig. 8.15a) que probablemente fue empleado en un proceso de obtención de bronce, en este caso binario, mediante cementación de cobre metálico con casiterita. La microestructura de la muestra es heterogénea y se observa una amplia zona de vidriado de la cerámica y varios islotes de escorificación propiamente dicha (Fig. 8.37). La matriz de la muestra corresponde a un material fundido de tipo piroxénico con estaño; también se observa una abundante presencia de zonas metálicas, a menudo parcialmente oxidadas.

Se han detectado varias inclusiones de estaño con contenidos variables de cobre (siempre inferiores al 28% Cu) y de hierro que, en algunos casos, está presente en cantidades muy elevadas (hasta un 82% Fe); sólo se ha analizado una inclusión de cobre que presenta también algo de hierro (<2% Fe). Además, en un borde de la muestra, debajo de la escorificación propiamente dicha (Fig. 8.38), se observa una concentración de pequeños cristales de forma cuadrangular que presentan una composición compleja, con una especial riqueza en calcio y titanio, y con abundante presencia de tántalo y

niobio (de entre 12,5-17% Ta_2O_5 y 9,5-10,5% Nb_2O_5), en algunos casos también con algo de estaño (alrededor del 2% Sn).

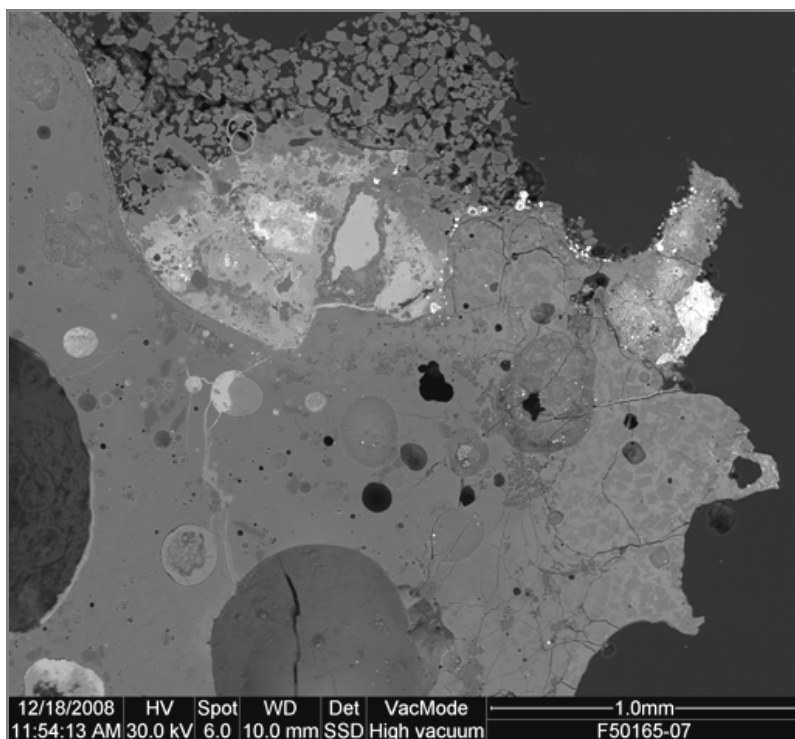


Fig. 8.37. Vista general de la microestructura de la muestra F50165. Las zonas brillantes son las más ricas en fases metálicas. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

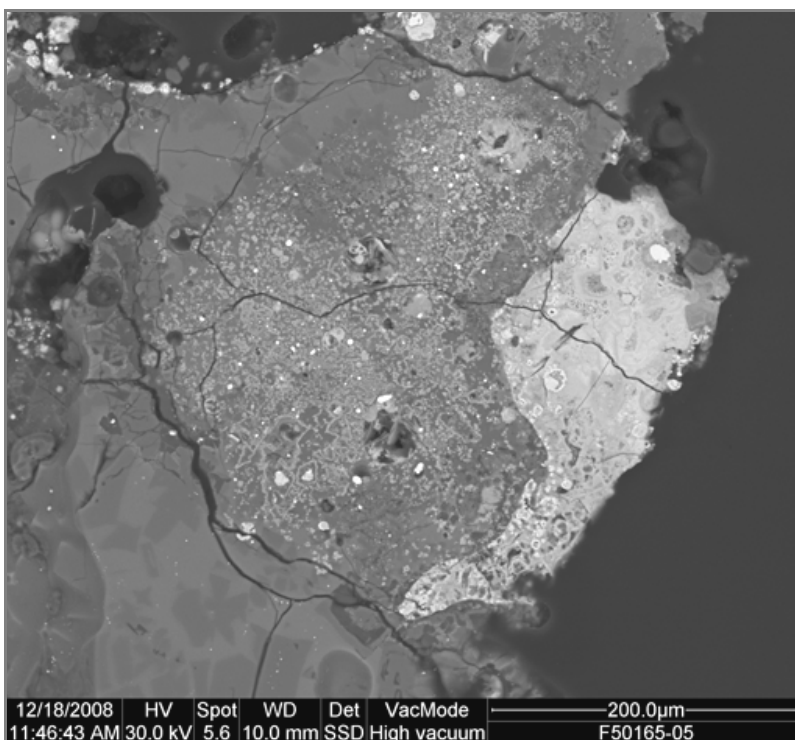


Fig. 8.38. Detalle de la microestructura de la muestra F50165 en el que se observa una región formada por pequeños cristales de composición compleja. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Como en el caso de la muestra F21122 analizada por DRX, este tipo de composición puede ponerse en relación con minerales de la serie del pirocloro presentes en las pegmatitas graníticas y que podrían haberse formado por sustitución local de la foordita-toreaulita por fases alcalinas (Li, Na, K, Cs, Ca)Nb-Ta, tal como hemos señalado anteriormente. Asimismo la casiterita, que suele estar asociada a estos minerales, puede contener cantidades apreciables de hierro, lo que explicaría la abundante presencia de este metal en las fases metálicas con estaño detectadas en la muestra.

También para este fragmento, como para los que se han descrito anteriormente, hay que destacar la falta de formaciones de bronce, aunque aquí para explicar este fenómeno no se puede suponer que el ambiente fuera demasiado oxidante ya que hay presencia de estaño metálico y no se ha identificado casiterita residual. También hay que hacer notar que no se ha observado la formación de compuestos Ca-Sn, a pesar de la general riqueza en calcio del sistema que no se diferencia de la que presentan las otras dos muestras en las que sí se han formado estos compuestos. Se ha supuesto por tanto que podría no tratarse de un subproducto de una operación de cementación de cobre con casiterita, sino de un resto de producción de bronce mediante el uso de cobre y estaño metálicos. Pero, si aceptáramos esta opción, la presencia de los cristalitos grises ricos en tántalo y niobio podría ser difícilmente explicada, a menos que supusiéramos que se habían quedado, junto con el abundante hierro detectado, como impurezas en el metal; pero tampoco esta opción explicaría la ausencia de inclusiones de bronce. En realidad la escasa presencia en esta muestra de fases metálicas con cobre y la total ausencia de este elemento en las fases minerales dificulta la interpretación del proceso metalúrgico en el que se formó. ¿Se podría suponer que en esta vasija se hubiera llevado a cabo una operación previa de reducción de casiterita a estaño metálico con la posterior adición de cobre metálico? Quizás la porción de material escoriáceo analizado no sea suficiente para poder contestar a esta pregunta, por tanto la cuestión tiene que quedar abierta hasta que no se amplíe el muestreo y se obtengan más datos sobre estos procesos de producción de bronce.

Otro de los fragmentos analizados parece pertenecer a una vasija en la que se llevó a cabo un proceso de producción de bronce mediante el uso de cobre y estaño metálicos (F31130; Fig. 8.39).



Fig. 8.39. Fragmento de vasija F31130 de La Fonteta.

La microestructura de la muestra es homogénea (Fig. 8.40) y la matriz corresponde a un material fundido en el que se observan formaciones de alumokermanita con algo de cobre.

Se han detectado abundantes inclusiones metálicas englobadas en la matriz y la mayoría de ellas son pequeños glóbulos de cobre (Fig. 8.41). También se han analizado varias inclusiones de estaño que presentan escasos contenidos de cobre, y las de mayor tamaño están

concentradas en la zona del borde de la muestra (Fig. 8.40). Asimismo, en algunos casos estas fases metálicas presentan algo de hierro, níquel y arsénico, unos elementos que probablemente en origen estarían asociados al cobre; igualmente, se han analizado perlas de bronce, algunas con contenidos muy elevados de estaño, con aproximadamente un 30% Sn.

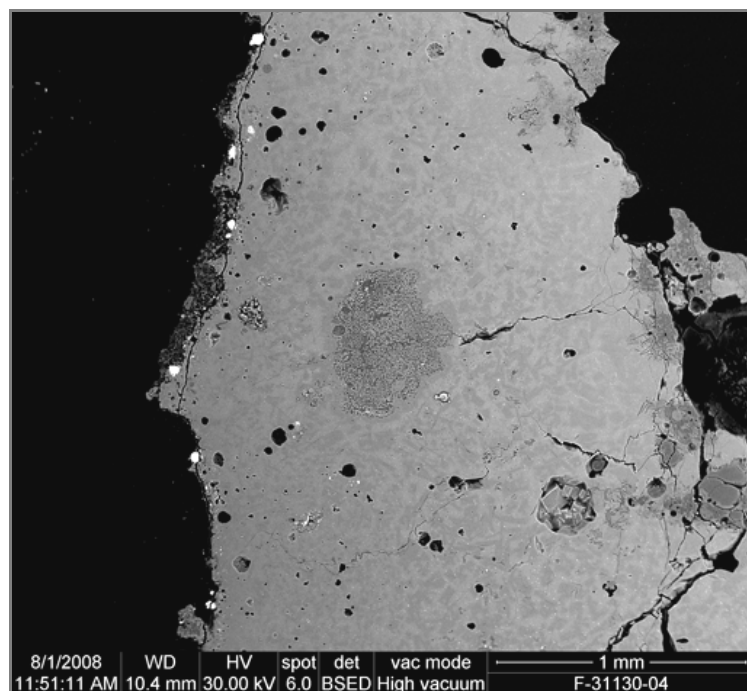


Fig. 8.40. Vista general de la microestructura de la muestra F31130 en la que se observa la presencia de inclusiones metálicas (brillantes) en el borde de la muestra. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La abundante presencia de estaño y cobre metálicos, la formación de bronce y una matriz fundida homogénea son los elementos que han permitido clasificar esta muestra como resultante de procesos de producción de bronce a partir de metales.

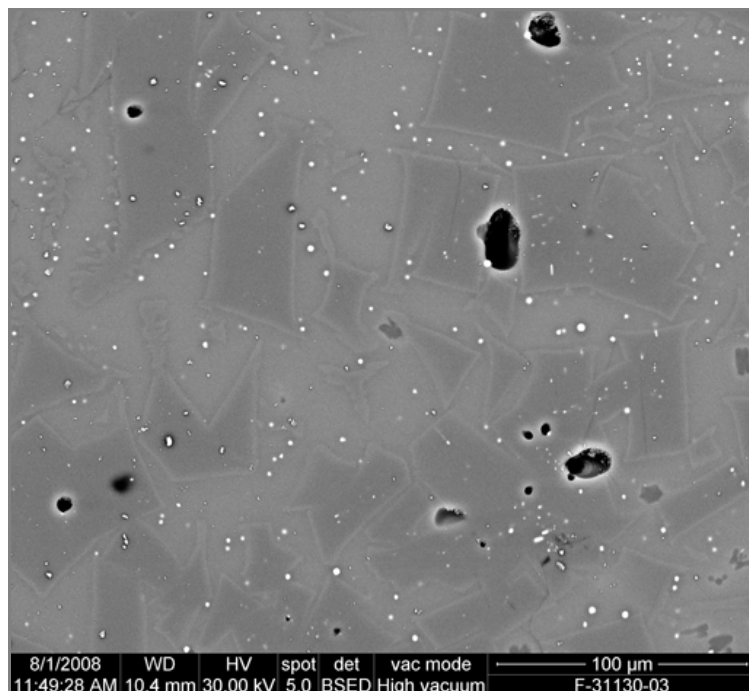


Fig. 8.41. Detalle de la matriz de la muestra F31130 en la que se observa la presencia de abundantes inclusiones metálicas (puntitos brillantes). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Con respecto a otros dos de los fragmentos seleccionados, ya se ha mencionado que su interpretación no está del todo clara. F41734 y F41577 podrían corresponder a restos de vasijas utilizadas en operaciones de producción o de afino de cobre.

La primera muestra (F41734) presenta un tamaño muy reducido y se trata de un goterón de escoria adherido a la pared de la vasija (Fig. 8.16a). Su microestructura es muy homogénea y la matriz está formada por alumoakermanita y por pequeños cristales de naturaleza piroxénica. Se observa la presencia de numerosos granos de cuarzo y de enstatita parcialmente disueltos –algunos de los cuales presentan un núcleo de material calizo– que podrían corresponder a restos de la ganga del mineral empleado (Fig. 8.42). También se aprecian numerosas inclusiones metálicas de forma globular y tamaño muy reducido dispersas en la matriz (puntitos brillantes en Fig. 8.42), de las cuales gran parte están compuestas por cobre con hierro; algunas contienen níquel y otras presentan segregados de plomo.

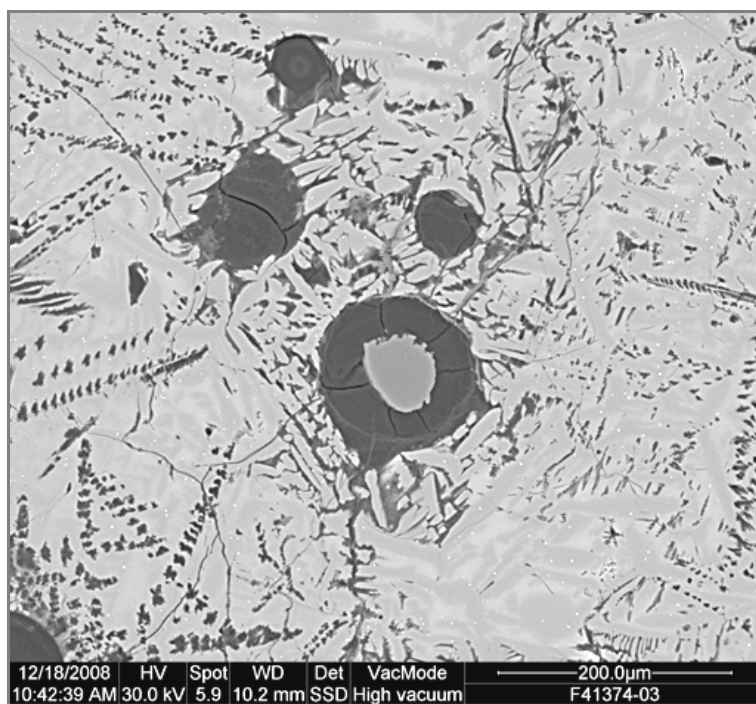


Fig. 8.42. Detalle de la matriz de la muestra F41734 en la que se observa la presencia de granos de cuarzo y de enstatita, y de numerosas inclusiones metálicas de pequeño tamaño (puntitos brillantes en la matriz). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Las dimensiones reducidas de esta escorificación dificultan la interpretación de su proceso de formación. La presencia de posibles restos de la ganga del mineral y la detección en las fases metálicas de elementos como hierro, níquel y plomo –que a menudo se han encontrado acompañando al cobre en varios subproductos metalúrgicos de La Fonteta– podrían sugerir que esta vasija fue empleada en la producción de cobre a partir de minerales polimetálicos. Sin embargo, la homogeneidad de la microestructura y la especial riqueza en hierro de las fases metálicas, así como unas formaciones botroidales de hierro-plomo observadas en el borde de la muestra, podrían apuntar a un uso de la vasija en operaciones para refinar el cobre; este proceso de afino se llevaría a cabo en un ambiente oxidante para que el hierro y las otras impurezas presentes en el metal pasen a la escoria dejando un cobre más o menos “limpio”.

La otra muestra (F41577; Fig. 8.32b) presenta unas características y unas fases composicionales distintas a las del fragmento F41374. La microestructura es heterogénea y se aprecia claramente la transición entre la escorificación y la cerámica de la vasija (Fig. 8.43). La matriz corresponde a un material fundido muy rico en calcio en el que se han formado cristales de aluminato de hierro. Se observa una abundante presencia de magnetita, formando tanto cristales como pequeñas dendritas, indicando

que en el sistema había riqueza de hierro y que hubo episodios suficientemente oxidantes para que pudiera formarse este óxido.

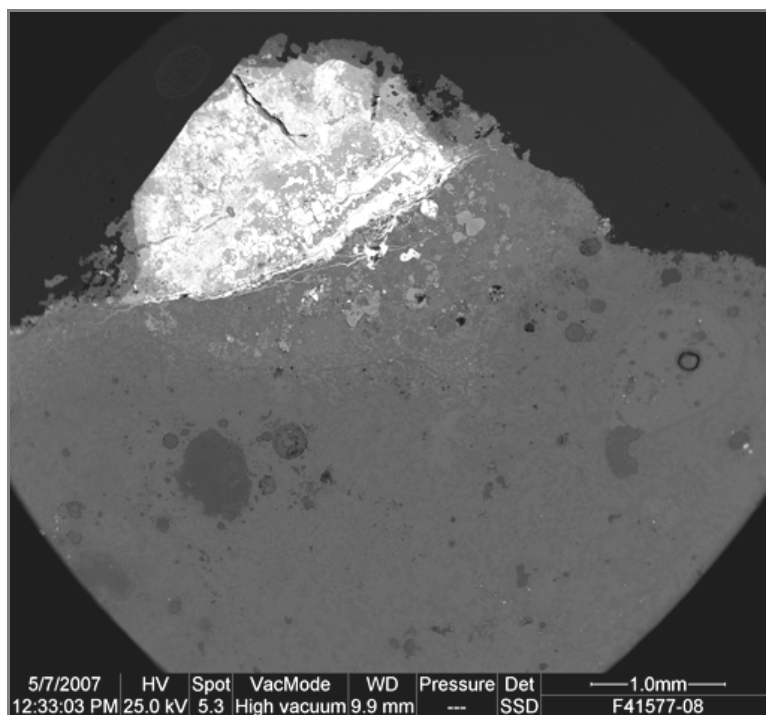


Fig. 8.43. Vista general de la microestructura de la muestra F41577; la zona brillante corresponde a la escorificación rica en fases metálicas Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Se han detectado numerosas inclusiones metálicas, algunas de las cuales están entre cristales de magnetita o englobadas en ellos (Fig. 8.44). La mayoría está compuesta por plomo con cobre y un contenido apreciable de hierro, algunas presentan también algo de estaño y se ha analizado una inclusión de cobre acompañada por hierro y níquel. También se aprecian amplias zonas de oxidaciones secundarias en las que se pueden distinguir distintas fases, algunas constituidas enteramente por óxido de cobre y otras por plomo-cobre, en algunos casos con estaño y/o también con hierro, arsénico y algo de antimonio.

De nuevo nos encontramos ante una escorificación de difícil interpretación, en este caso debido a la heterogeneidad de su microestructura y a la complejidad de sus fases. También aquí la presencia de elementos como hierro, níquel, plomo, antimonio y arsénico asociados al cobre sugieren que podría tratarse de un material resultante de la reducción de minerales complejos de cobre ricos en plomo.

Sin embargo, la presencia de amplias zonas metálicas que presentan fenómenos de oxidación secundaria y la abundancia de magnetita indican el predominio de un

ambiente oxidante. Estas condiciones podrían ser compatibles con operaciones de afino, un proceso que en el caso de cobre obtenido utilizando minerales de este tipo, sería necesario para eliminar el hierro y las otras impurezas presentes en la masa metálica; el resultado sería una masa metálica de cobre con cierta riqueza en plomo. De todos modos, el tipo de escoriificación adherida a la vasija, heterogénea y bastante gruesa, y la presencia de metales como el arsénico y el antimonio que son de fácil oxidación y se pierden en los humos durante los procesos térmicos, podrían constituir elementos a favor de la interpretación de esta escoriificación como resultante de operaciones para la reducción de cobre.

Actualmente en la Península Ibérica, para la época objeto de esta Tesis, no existen estudios sobre subproductos resultantes del afino de metales que puedan constituir un referente para estos materiales de La Fonteta. Por tanto, en el caso de ambas muestras, hay que dejar la cuestión abierta hasta que no se disponga de nuevos datos para poder interpretar más claramente su función.

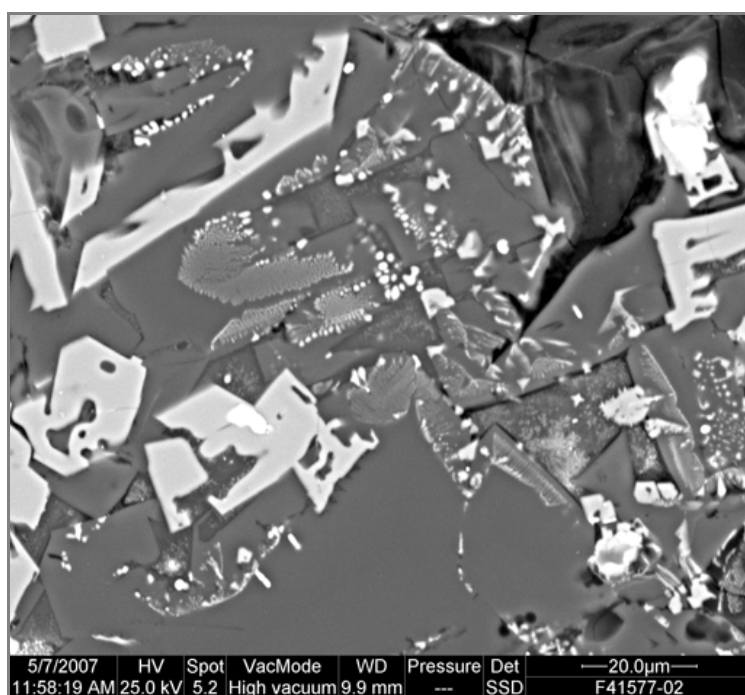


Fig. 8.44. Detalle de la microestructura de la muestra F41577 en el que se aprecian inclusiones metálicas (blancas brillantes) entre cristales de magnetita (blanquecinos) o englobadas en ellos. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La última muestra analizada (F62030; Fig. 8.17a) presenta una microestructura muy homogénea. La matriz está formada por un vidrio al cobre y se aprecia la presencia

de numerosas pequeñas inclusiones metálicas de forma globular dispersas en la matriz (Fig. 8.45).

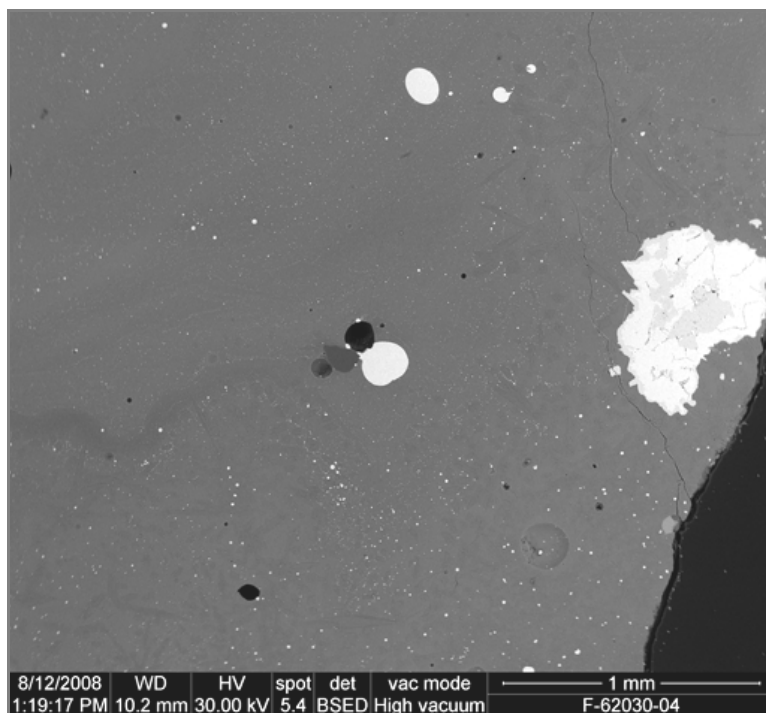


Fig. 8.45. Vista general de la microestructura de la muestra F62030. Se observa la abundante presencia de inclusiones metálicas (brillantes). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Algunas presentan mayores dimensiones y la mayoría de ellas tienen segregados brillantes de otros metales (Fig. 8.46), principalmente de plata aunque se han detectado también segregados de plomo, estaño y oro.

La presencia de inclusiones de cobre con segregados de estos elementos confirma el aprovechamiento de minerales polimetálicos, en algunos casos con contenidos apreciables de metales nobles, y sugiere que esta escorificación sea un subproducto resultante de la reducción de minerales cupríferos de tipo complejo. Además, la presencia de segregados de plata en inclusiones de cobre ya ha sido detectada en otras escorias de La Fonteta, confirmando cuanto se había sugerido en el apartado correspondiente al estudio de estos materiales (véase el Cap. 6), es decir que existe un aprovechamiento de minerales cupro-argentíferos y que la elección de minerales de este tipo no tuvo que ser casual, ya que constituirían un recurso alternativo a los minerales plumbo-argentíferos para la extracción de la plata; esta operación de desplate se llevaría a cabo mediante procesos de licuación y, como ya se ha visto, en el yacimiento hay varios subproductos que pueden ponerse en relación con estas actividades.

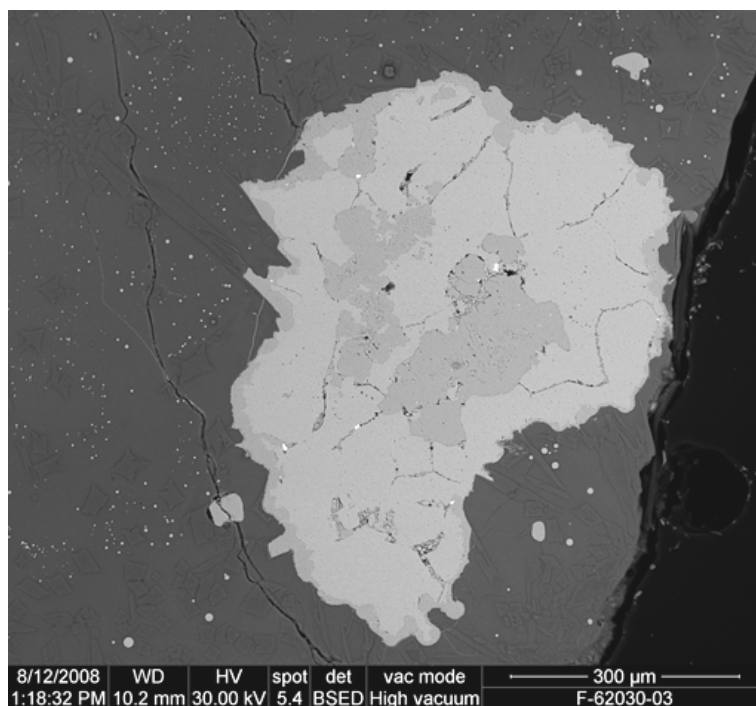


Fig. 8.46. Muestra F62030: detalle de una inclusión metálica con segregados de plata (blancos brillante en la matriz de la inclusión). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

En conclusión, tanto la microestructura como las fases composicionales de estos materiales escoriáceos adheridos a las vasijas metalúrgicas se corresponden con las características de las escorias de base cobre analizadas, a cuyo estudio en esta misma Tesis remitimos para la comparación con otros materiales similares (Cap. 4).

Con respecto a los resultados analíticos obtenidos por ED-XRF, tampoco los datos proporcionados por el estudio efectuado mediante SEM-EDX permiten avanzar hipótesis para asignar una función específica a las distintas tipologías de vasija de uso metalúrgico identificadas en La Fonteta. Este estudio sólo nos confirma que la textura y el grosor de la escorificación tienen una relación directa con el tipo de proceso metalúrgico en el que se ha formado: capas de escorificación más finas y de textura metálica suelen estar relacionadas con operaciones de fundición de metales, mientras que capas más gruesas y heterogéneas de material escoriáceo se asocian a operaciones de fundición de metales o a la obtención de aleaciones.

9. LOS MOLDES

9.1 INTRODUCCIÓN

Los moldes son recipientes que reproducen la impronta en negativo de un objeto, en los que se vierte el metal en estado líquido y tras solidificar, se obtiene una pieza de una determinada forma. En la antigüedad se han documentado moldes fabricados en distintos materiales: piedra, arcilla y metal. Su tipología puede ser muy variada y, según el número de valvas o matrices que tengan, se pueden clasificar en univalvos, bivalvos o polivalvos.

Los **moldes univalvos** se dividen en abiertos y cerrados: los primeros sólo constan de una pieza en la que se produce el rebaje o impronta del objeto. El uso de moldes abiertos permite crear una pieza de morfología generalmente muy simple; la cara superior es plana y está en contacto con el aire libre, dando al objeto un aspecto arrugado y causando un enfriamiento más rápido del metal que suele producir puntos de debilidad en la estructura y en las propiedades de la pieza fabricada.

En los moldes univalvos de tipo cerrado, la segunda valva está constituida por una tapadera plana con la cara interna lisa para que ajuste mejor con la otra matriz y para que la superficie del objeto producido sea más regular. Además, la tapadera del molde permite retener el calor e impide un enfriamiento demasiado rápido de la pieza, reduciendo la formación de fisuras, vacuolas, etc. Estos moldes, a diferencia del tipo anterior, se alimentan verticalmente y, como los abiertos, se utilizaban para producir objetos con una cara plana, como por ejemplo hachas, lingotes o barras metálicas.

Los **moldes bivalvos** presentan el negativo en ambas caras. La impronta debe llegar hasta un lateral de la pieza para permitir su alimentación en posición vertical o con una ligera inclinación, para facilitar la colada del metal. Este rebaje en el extremo del molde se suele disponer como un cono de vertido o bebedero, generalmente constituido por un simple orificio o rebaje más o menos profundo, tallado en una de las extremidades del molde y reproduciendo una mitad en cada matriz. Los conos de vertido funcionarían pues como embudos para regular el vertido de la colada y reducir la entrada de aire en el interior del molde. La operación tenía que realizarse rápidamente, dado que añadir metal fundido a una colada ya parcialmente sólida

produce defectos bien visibles, como por ejemplo la presencia de líneas y superficies discontinuas entre las dos coladas.

Además, este tipo de moldes podía presentar también sistemas de acople para que no se desplazaran las valvas durante el proceso de vertido del metal. Existían varios sistemas de anclaje, siendo lo más común que en las mismas valvas hubiera partes macho-hembra para que quedaran bien encajadas, como parece sugerir, por ejemplo, la presencia de asas en algunos moldes de metal (Mohen 1981). Estos moldes bivalvos pueden tener uno o más negativos de iguales o diferentes tipos de objetos.

Los **moldes polivalvos o múltiples**, generalmente fabricados en piedra, están compuestos por más de dos valvas, al menos dos hojas laterales y una central que debe presentar improntas de los objetos a fundir en ambas caras.

Este tipo de molde permite la producción simultánea de más piezas con una sola operación de vertido, aprovechando todo el metal obtenido en el proceso de fundición y ahorrando la materia prima del soporte. También, como sugiere Tylecote (1987), estos moldes se podrían considerar herramientas de fundidores itinerantes que de este modo no necesitarían transportar muchos moldes y podrían igualmente fabricar varias piezas de distinto tipo.

Uno de los problemas que plantea el uso de moldes cerrados es la degasificación del caldo metálico durante el vertido, sobre todo en el caso de producción de objetos masivos como las hachas, puntas de lanza, etc. Cuando se vierte el metal y durante su solidificación, hay una fuerte emisión de gases, generalmente vapor de agua, producidos tanto por las altas temperaturas del caldo metálico como por la humedad de los moldes.

Los eventuales gases en solución forman defectos de colada, como poros o vacuolas, que constituyen zonas de mayor fragilidad para el objeto. En consecuencia, era fundamental facilitar una salida para que pudiera producirse la evacuación de gases del molde. De hecho, en algunos ejemplares se ha documentado la existencia de canales de degasificación, constituidos por pequeños surcos grabados en las caras internas del molde y que desde el negativo del objeto llegaban hasta los laterales externos del molde. En algunos casos, el problema de evacuación de gases se podía resolver de manera espontánea al no ajustar perfectamente las valvas, como parece indicar la existencia de gruesas rebabas que se observan a lo largo de la junta del molde en los objetos que no fueron pulidos con cuidado (Rovira Llorens 2004: 33). Coghlan (1975) sugiere que se

utilizaron conscientemente matrices que no eran del todo simétricas y que, junto con una leve inclinación del molde durante el vertido del metal, favorecían una mejor eliminación de los gases de fundición. Pero aún así, como demuestra la microestructura de muchos objetos metálicos antiguos, no se consiguió eliminar el problema y fue probablemente por esta razón por la que, a menudo, después de la elaboración del objeto se recurría a la forja a martillo para aplastar las burbujas mediante deformación mecánica del metal. De hecho, tras la refundición, el objeto seguía siendo trabajado para eliminar las rebabas, pulirlo y, en caso de que procediera, afilarlo. Todos estos tratamientos posteriores eran necesarios para eliminar los defectos del vertido e influyen en las características mecánicas del material metálico (Rovira Llorens 2004).

Durante las fases iniciales de la metalurgia antigua, los moldes utilizados eran del tipo univalvo y abierto, simples placas o bloques de piedra en los que se reproducía en hueco la forma del objeto que se quería obtener. Este tipo de molde, aunque menos frecuentemente, se sigue documentando en épocas posteriores, sobre todo para obtener lingotes o algún tipo de objeto simple, como por ejemplo apliques. Los primeros ejemplares de molde encontrados en yacimientos arqueológicos pertenecen al periodo Calcolítico; los hallazgos todavía son escasos, probablemente debido al uso simultáneo de cobre fundido y de cobre nativo que se trabajaba mecánicamente (Tylecote 1976: 6). También se ha supuesto que en esta época se utilizaran como moldes simples improntas excavadas directamente en el suelo.

En la Edad del Bronce se empieza a difundir el uso de moldes cerrados que permitían producir formas más complejas y obtener objetos de mejor calidad, reduciendo notablemente el trabajo mecánico para conseguir un buen acabado final. Aparte de los moldes líticos, en este periodo se empiezan a documentar también ejemplares fabricados en arcilla y metal, y se documenta el uso de noyos o almas, unos elementos que se insertan en los moldes bivalvos para obtener elementos huecos en las piezas, como por ejemplo los cubos de las hachas o los cañones de las puntas de lanza. Además, el uso de aleaciones metálicas permitía disminuir la temperatura de fusión del metal y, en ciertas combinaciones, se conseguía también mejorar sus propiedades mecánicas y aumentar la fluidez del caldo metálico favoreciendo su vertido en los moldes. De hecho, en el Bronce Final se empieza también a añadir plomo al metal fundido, lo que incrementaba aún más su fluidez y permitía la elaboración de piezas complejas de mejor calidad (Tylecote 1976: 29).

Entre los ejemplares de moldes arqueológicamente documentados, los líticos son los más numerosos. Generalmente, se fabricaban con piedras de elevado poder refractario para que no se dañaran al contacto con las altas temperaturas del caldo metálico, y era necesario proceder a una fase de precaldeo del molde antes del vertido del metal para reducir los impactos térmicos y alargar su vida útil.

La mayoría de los moldes encontrados están fabricados con piedra arenisca pero también se conocen moldes de granito, caliza dura, esquisto, esteatita y serpentina. Su morfología puede ser muy variada y generalmente se corresponde con la producción metalúrgica de la región (Rovira Llorens 2004).

Por lo que concierne a los moldes de arcilla, los ejemplares conservados son escasos, sobre todo para las fases metalúrgicas más tempranas. La arcilla es un material frágil y estos moldes a menudo se agrietaban o se rompían por la tensión que producían las elevadas temperaturas del caldo metálico, aunque tenían la ventaja de ser más fáciles de fabricar y permitían reproducir con más detalle los distintos elementos de las piezas a manufacturar. En general, estos moldes tenían una única abertura por donde se vertía el metal; los canales de vertido estaban alimentados en un punto de unión o las matrices se unían entre sí permitiendo así que la colada pasara de una a otra. De todos modos, se conocen también ejemplares en los que cada elemento presentaba un cono de vertido individual.

Los ejemplares de moldes de arcilla documentados suelen estar formados por dos capas distintas. Una de las partes se fabricaba con material refractario –en general un sedimento fino con el que el bronzista tomaba la huella del objeto que quería reproducir– que debía secarse y cocerse para que la capa fuese compacta. La otra parte, hecha de arcilla más gruesa con abundante desgrasante vegetal, rodeaba el núcleo refractario y servía para sostener las valvas del molde, pero también para favorecer la retención de calor y evitar un enfriamiento demasiado rápido de la pieza (Fleury 1990).

Antes del vertido, había que proceder al precaldeo del molde para eliminar eventuales restos de humedad y reducir el riesgo de formación de poros, y también para evitar su posible ruptura por el choque térmico debido a las altas temperaturas del caldo metálico (Tylecote 1976: 33).

Al igual que los de arcilla, los hallazgos de moldes de metal son poco abundantes, probablemente debido al alto coste de producción y también a la práctica de reciclarlos una vez que hubieran quedado inservibles por el uso.

La composición del metal del molde solía reflejar la del objeto que se quería producir y su efectividad dependía de la temperatura tanto del mismo molde antes del vertido como de la del metal fundido. Para evitar tensiones internas, al momento de verter la colada era necesario precalentar el molde o enterrarlo en arena caliente. Esta operación de precaldeo permitía alargar su vida útil, aunque se podía deteriorar también por deformación, por problemas de soldadura con el metal caliente de la colada o, por ejemplo, a causa de un mal recubrimiento de las paredes del molde. De hecho, hay evidencia de que se recubrían las caras internas con una delgada capa de alguna sustancia –como por ejemplo hollín obtenido quemando aceites, yeso, carbón machacado u otras sustancias orgánicas– que ayudara a preservar el molde y permitiera una más fácil extracción del objeto, aunque ésta se veía favorecida también por la retracción del metal al enfriarse (Tylecote 1976: 33).

9.2 LOS MOLDES DE LA FONTETA

A lo largo de las campañas de excavación arqueológicas llevadas a cabo en La Fonteta, se han recogido numerosos ejemplares de moldes. No se han encontrado moldes completos pero son más de 60 los fragmentos documentados, y casi todos corresponden a moldes líticos fabricados en piedra arenisca, a excepción de dos posibles fragmentos de moldes de arcilla. Además, se han recogido alrededor de 25 fragmentos de bloques de arenisca que presentan huellas de afectación térmica o algún lado labrado, pero su interpretación como moldes no está del todo clara.

Entre todos estos fragmentos, se ha efectuado una selección de los ejemplares que pudieran proporcionar información significativa o que presentasen características peculiares; por tanto, con la finalidad de llevar a cabo un estudio detallado, se han seleccionado 19 fragmentos de moldes líticos y los dos fragmentos de moldes de arcilla.

9.2.1 Los moldes líticos

Se trata principalmente de ejemplares del tipo univalvo cerrado con tapadera plana, que se obtenían excavando la impronta en la matriz correspondiente a un bloque

cuadrangular de piedra arenisca con los lados groseramente labrados. El grosor del bloque varía significativamente según los casos y no parece que haya una estandarización de tamaño y de forma. En algunos casos, en los rebajes del objeto a fundir se aprecian las huellas de afectación térmica producidas por el vertido directo y las elevadas temperaturas del caldo metálico.

Se han encontrado ejemplares de cama individual, de doble cama para la fundición simultánea de dos piezas, y algunos fragmentos que podrían ser parte de moldes polivalvos utilizados para la producción de más de dos piezas a la vez. Este hallazgo es particularmente significativo si se considera que, actualmente, en la Península Ibérica se conocen solamente dos ejemplares de moldes polivalvos. Uno es el molde lítico encontrado en el poblado de la Cuesta del Negro (Purullena, Granada) y atribuido al Bronce Pleno. Este molde fue utilizado para fundir hachas planas, un objeto con características parecidas a los que se estaban produciendo en La Fonteta, aunque con un grosor mayor de la sección; cuenta con tres valvas apiladas de las cuales la central no presenta los negativos del objeto, actuando como tapadera para las valvas con rebaje (Molina y Pareja 1975). Otro paralelo es el molde procedente de Piedrahita (Mucientes, Valladolid), fechado a principio del I milenio a.C., que corresponde a un bloque lítico de forma rectangular con una fractura en uno de sus lados, afectando a las cuatro improntas de los objetos a fundir. No obstante, la parte conservada permite identificar el tipo de piezas fabricadas: puntas de lanza, hachas planas y los otros dos negativos podrían haberse utilizado para fundir lingotes o para producir el bruto de cinceles o útiles similares (Delibes de Castro *et al.* 2010-2011).

En La Fonteta, la elección de utilizar arenisca para fabricar moldes tuvo que ser dictada en primer lugar por la abundancia de esta piedra en las cercanías del yacimiento –es una roca sedimentaria común en la zona de Guardamar del Segura– pero también por sus propiedades físicas. Las areniscas de buena calidad son duraderas y tienen una óptima resistencia al fuego; su color puede variar notablemente según el tipo, cambiando desde el blanco de las más cuarzosas al rojo oscuro casi negruzco de las ferro-magnesianas. Aunque generalmente se considere una piedra de textura porosa, su grado de porosidad y de permeabilidad también puede variar notablemente según el tipo de arenisca empleado.

En el caso de La Fonteta, la arenisca utilizada para fabricar los moldes generalmente presenta color amarillento; algunos fragmentos tienen una coloración más

rojiza que, en la mayoría de los casos, parece debida a una excesiva afectación térmica por el uso, mientras que en otros casos podría tratarse de un tipo diferente de arenisca. Gran parte de los fragmentos encontrados presentan una textura bastante compacta de granos finos y redondeados, y se trata de una arenisca de buena calidad que por sus características permitiría conseguir un acabado más refinado de las piezas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, muchos de los ejemplares de molde encontrados en el yacimiento presentan signos de afectación térmica, pero en ningún caso se han detectado restos de escorificación adherida que pudieran proporcionar información sobre la composición del metal empleado para la producción de los objetos.

Se han encontrado valvas que han sido interpretadas como tapaderas porque no tienen rebaje, sino que presentan sólo una marca negruzca que corresponde al objeto fundido, producida por las elevadas temperaturas y por los vapores emanados durante el vertido del metal. Sin embargo, a pesar de que se trate principalmente de moldes univalvos del tipo cerrado, no se han identificado canales de degasificación y, como fue sugerido por Coghlan (1975), es posible que el problema de la salida de gases durante el vertido se solucionara utilizando valvas asimétricas. También las buenas propiedades físicas de la piedra arenisca –con un alto grado de permeabilidad, buena porosidad y capacidad de absorción– podrían haber favorecido de manera natural la evacuación de los gases. Además, en ninguno de los fragmentos encontrados se han podido identificar sistemas de acoplamiento de las valvas, una evidencia que podría apoyar la hipótesis del uso de valvas de ajuste imperfecto.

La mayoría de los fragmentos recogidos en La Fonteta proceden de los vertederos excavados en el Corte 54-1; se trata de 36 moldes líticos pertenecientes a las fases I-II de vida del yacimiento, sólo un ejemplar ha sido atribuido a la fase III y dos fragmentos a la fase VI. Es el área de excavación que ha proporcionado el mayor número de fragmentos de moldes de la fase arcaica, ya que 11 de los 36 ejemplares recogidos pueden atribuirse a la fase I.

A la fase siguiente, la fase II, corresponden 33 fragmentos de molde: 5 proceden del Corte 5N, uno del Corte 7, dos del Corte 8 y otros dos fragmentos fueron recogidos en el Corte 25. En el caso del Corte 5N, estamos de nuevo ante una escombrera, mientras que para los otros sectores mencionados se trata de niveles de uso de viviendas con espacios dedicados a operaciones metalúrgicas.

Otros 14 fragmentos han sido atribuidos a la fase III; también en este caso, todos los ejemplares proceden de la zona de viviendas utilizadas para la producción de metales, a excepción de un único fragmento que procede del vertedero excavado en el Corte 54-1 (Tabla 9.1).

Por lo que concierne a La Fonteta Reciente, ningún molde pertenece claramente a las fases IV y V –un periodo de ocupación que no ha sido bien documentado a nivel arqueológico–, mientras que 4 fragmentos pueden ser atribuidos a la fase VI y proceden principalmente de las escombreras. Un único fragmento fue recogido en el taller metalúrgico del Corte 7 y otro procede del Corte 25, de un espacio que fue utilizado como basurero durante las fases más recientes (Tabla 9.1).

Por tanto, casi todos los hallazgos de moldes líticos se concentran en las fases I-III, enmarcados en el momento arcaico de ocupación del yacimiento (FA). La distribución de los hallazgos de moldes por corte y por fase cronológica se resume en la Tabla 9.1, y no parece proporcionar información especialmente significativa para la asociación de los distintos ambientes a funciones metalúrgicas concretas.

	Corte 25	Corte 14	Corte 54-1	Corte 5	Corte 5N	Corte 7	Corte 8	Tot.
Fase I	-	-	11	-	-	-	-	11
Fase II	2	-	23	-	5	1	2	33
Fase III	-	4	1	1	-	2	6	14
Fase VI	2	-	1	-	-	1	-	4
Tot.	4	4	36	1	5	4	8	62

Tabla 9.1. Distribución de los fragmentos de molde de arenisca por fases cronológicas y por cortes.

Entre los moldes líticos encontrados, no hay ningún ejemplar completo y sólo unos pocos fragmentos permiten reconstruir la forma del objeto a fundir, que parece corresponder a unas finas láminas de metal de tendencia rectangular. Piezas de este tipo han sido documentadas en varios yacimientos del Levante español fechados en el segundo cuarto del I milenio a.C. (siglos VIII-VI a.C.); en concreto, es un fenómeno que actualmente parece concentrarse únicamente en la provincia de Alicante y en las Islas Baleares (Fig. 9.1).

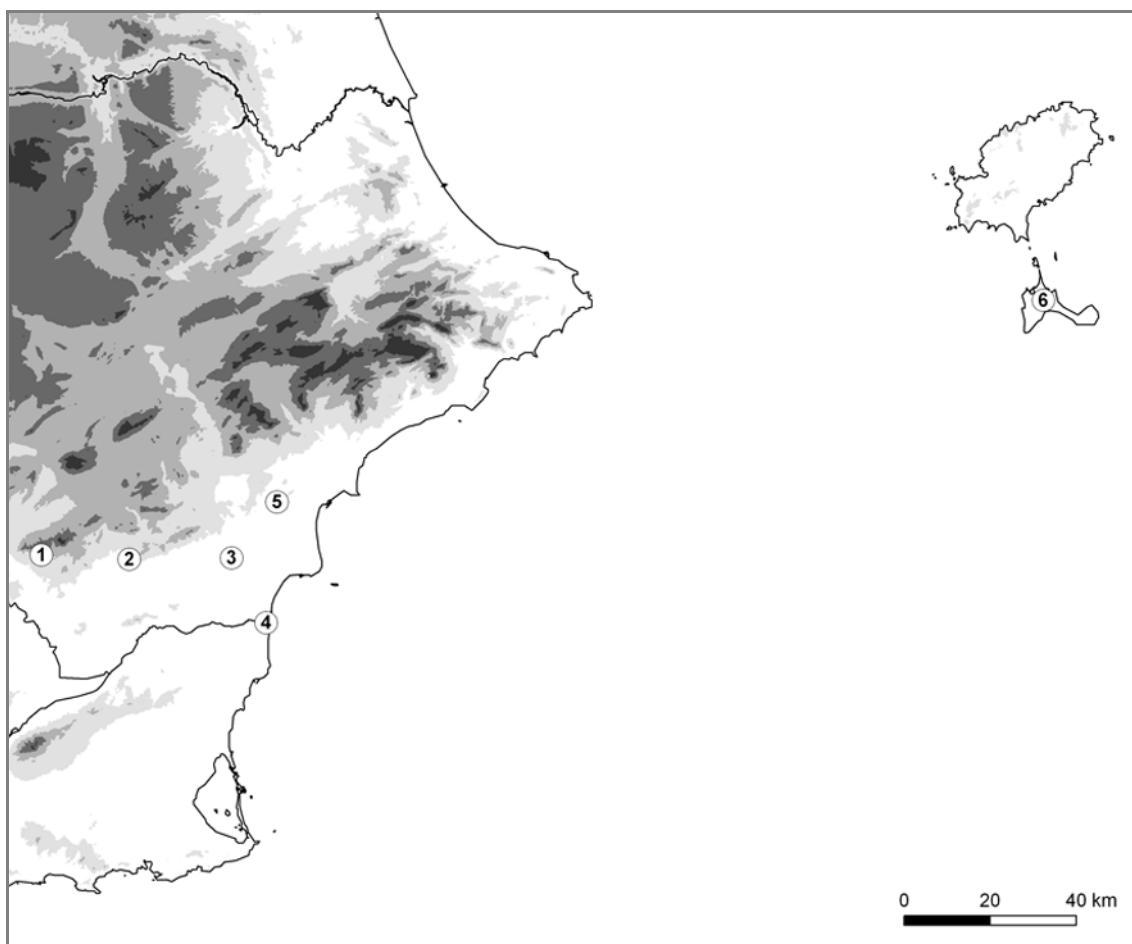


Fig. 9.1. Distribución de los hallazgos de lingotes-hacha en el Levante Peninsular y Baleares. 1) Peña Negra; 2) Fonteta del Sarso; 3) La Alcudia; 4) La Fonteta; 5) El Tabaiá; 6) C'an Mariano Gallet (Formentera). Mapa elaborado por Antonio Uriarte González.

Tienen forma rectangular y, en algunos casos, presentan unos pequeños apéndices en uno o en ambos lados de la pieza, hacia la zona del cono de fundición (Fig. 9.2). Por su morfología se las ha asociado a hachas, pero la interpretación de este tipo de objetos, actualmente definidos como lingotes-hacha, ha sido bastante discutida. Inicialmente, por la presencia de las protuberancias arriba mencionadas, fueron denominados erróneamente hachas planas de apéndices laterales (Monteagudo 1977; Coffyn 1985); sin embargo, esta tipología corresponde a un tipo de útil bien documentado y que presenta tamaño, espesor y características diferentes.

En La Fonteta se ha identificado un único elemento metálico, un recorte de plancha con número de inventario F55031, que se ha interpretado como un posible fragmento de un lingote-hacha y del que se hablará más adelante, en el capítulo sobre objetos metálicos (Cap. 10).

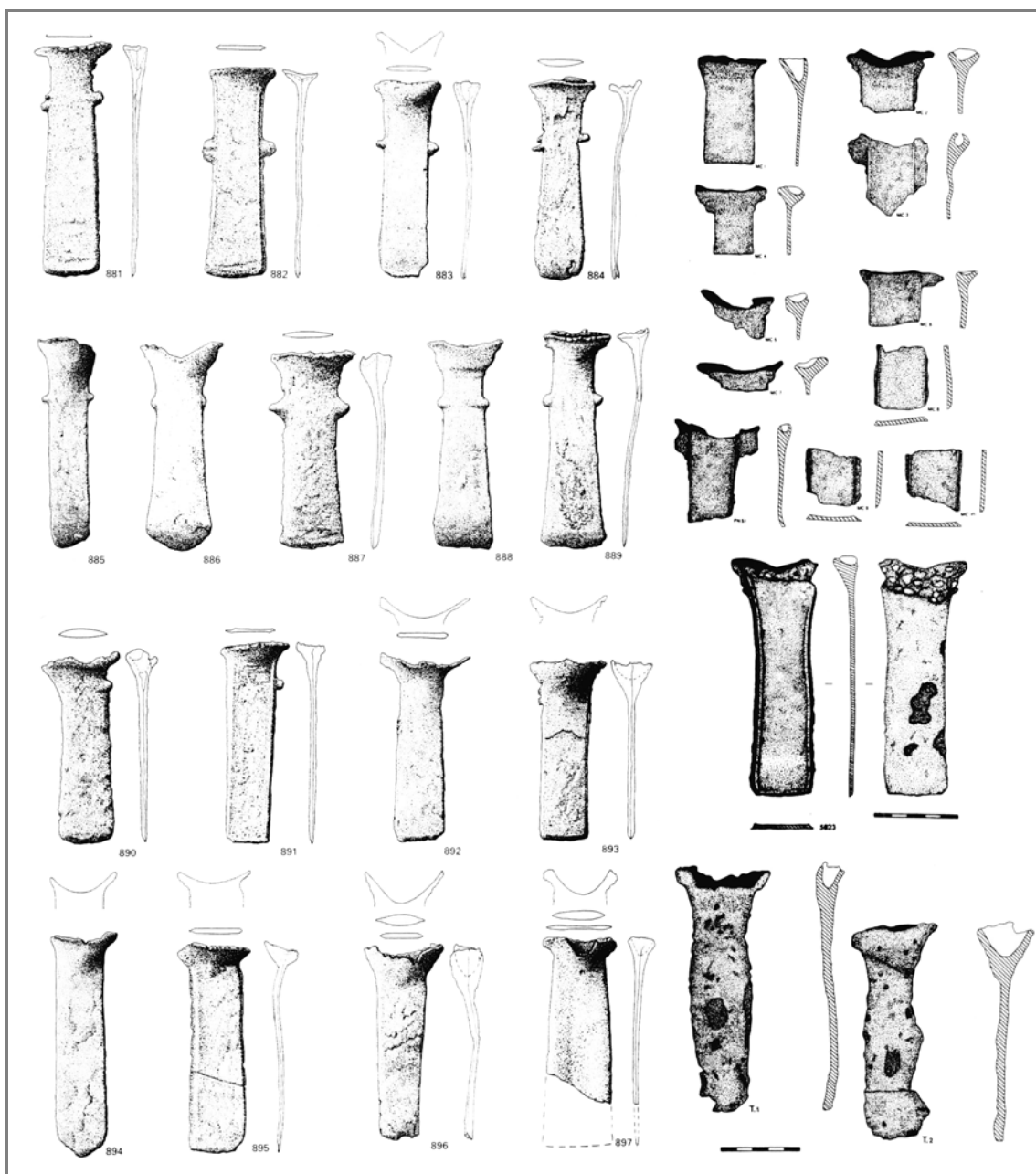


Fig. 9.2. Lingotes-hacha de La Alcudia (nn. 881-897, a la izquierda en la imagen), de Peña Negra (MC y PN, arriba a la derecha) y de El Tabaiá (T1 y T2, abajo a la derecha), según Simón 1998.

Los únicos paralelos para los moldes líticos encontrados en La Fonteta y empleados para producir este tipo de lingotes en forma de hacha, podrían proceder de Peña Negra (Sierra de Crevillente, Alicante). En este yacimiento, aparte de los más de 300 fragmentos de molde de arcilla para fundir distintos tipos de piezas, se han recogido también 3 fragmentos de moldes fabricados en piedra arenisca que corresponden a valvas en las que parece observarse una escasa profundidad de los rebajes (González Prats y Ruiz-Gálvez 1989). Esta característica podría sugerir que se trata de moldes para fabricar lingotes-hacha, pero no se conocen las dimensiones de la impronta para poder

compararlas con la de los moldes de La Fonteta, por tanto no se puede afirmar con seguridad que se trata de ejemplares análogos.

A continuación procedemos a la descripción de los fragmentos de moldes líticos de La Fonteta seleccionados para su estudio.

El fragmento con número de inventario F1413 es de incierta interpretación; el bloque de arenisca que constituye la valva presenta un pequeño canal de desarrollo irregular (Fig. 9.3), cuya profundidad varía entre 5,7 mm y 11,3 mm, con 8,2 mm en su punto medio.

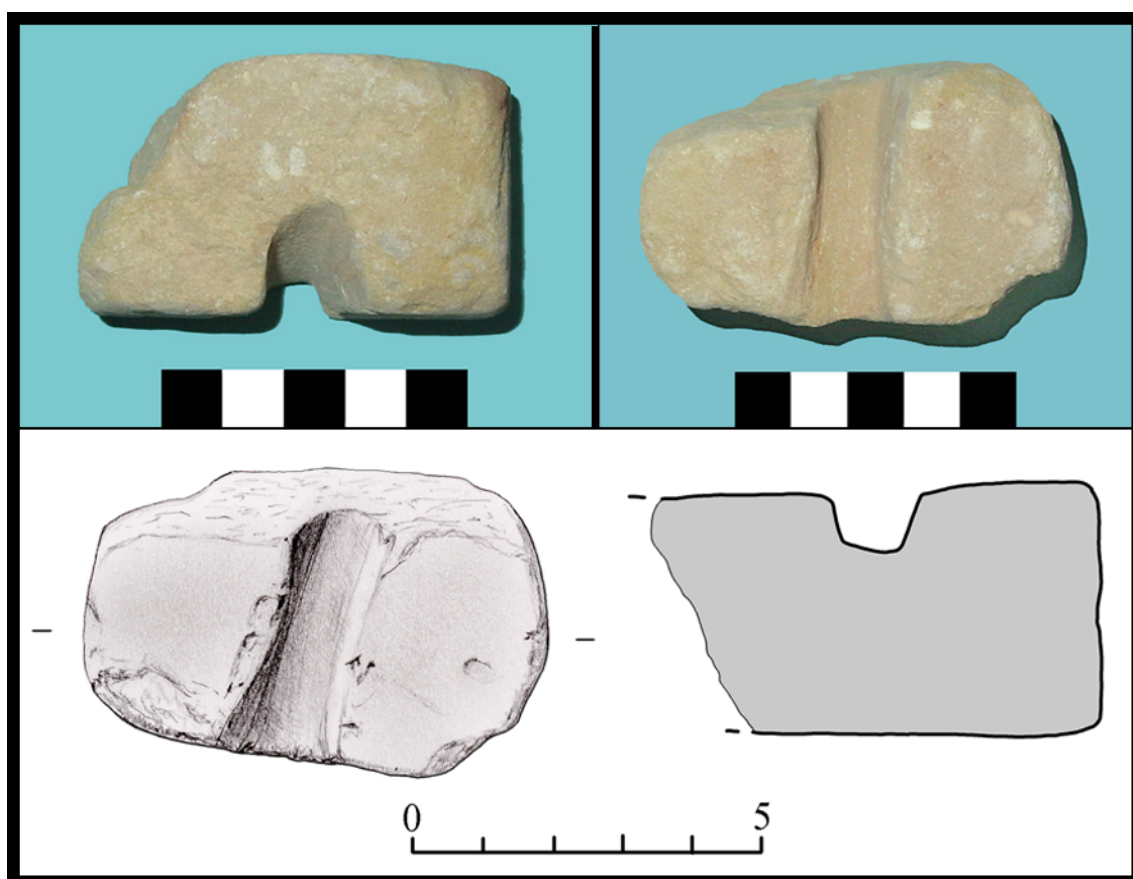


Fig. 9.3. Fragmento del molde F1413, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.

La anchura del canal está entre 10,1 y 10,5 mm, y podría corresponder a la zona del cono de vertido de un molde para producir piezas alargadas, como cinceles o varillas. En este caso, se trataría del único ejemplar de molde bivalvo documentado en el yacimiento. De todos modos, hay que notar que la morfología del objeto a fundir tiene una sección cuadrangular (Fig. 9.3) y que por tanto podría presentar otro lado plano obtenido con el uso de una simple tapadera con la cara interna lisa. El ejemplar en

cuestión no presenta claros signos de afectación térmica; procede del Corte 7 y pertenece a la fase VI (FR).

El molde **F10084** (Fig. 9.4) está mal conservado, probablemente por la excesiva exposición al calor, aunque no parece presentar claros signos de afectación por fuego. Como en el caso anterior, este molde no proporciona elementos ciertos para identificar el tipo de objeto que se estaba fabricando. Se conserva solo una parte del negativo que corresponde a un objeto con un lado recto y de escaso espesor, siendo su profundidad en la zona conservada de 1,75 mm, el lado corto es de 30 mm y su longitud de 60 mm aproximadamente. Parece tratarse de un molde univalvo del tipo cerrado, probablemente utilizado para fabricar lingotes-hacha. Se recogió en el Corte 7 y es de la fase II (FA).



Fig. 9.4. Fragmento del molde F10084, procedente de La Fonteta.

El ejemplar **F11051** es un molde de doble cama en el que se aprecian claramente las marcas negruzcas del vertido directo del metal en la impronta (Fig. 9.5). Ambos rebajes tienen una profundidad de 1,5 mm pero en ninguno de los dos casos se conserva la sección completa; la distancia entre los dos rebajes es de 30 mm. Es un molde univalvo, probablemente del tipo cerrado, usado para la producción simultánea de más objetos; parece destinado a fundir piezas de escaso espesor y con al menos un lado recto que podrían corresponder también en este caso a lingotes-hacha. Fue encontrado en el Corte 14 y asignado a la fase III (FA).



Fig. 9.5. Fragmento del molde F11051, procedente de La Fonteta.

También procedente del Corte 14 y perteneciente a la fase III (FA) es el molde **F11087**; se trata de un fragmento de bloque de arenisca con signos de afectación térmica en ambas caras. En uno de los lados planos se aprecia una marca negruzca lisa cuya forma parece corresponder a la de los rebajes de otros moldes (Fig. 9.6a), y podría por tanto haberse utilizado como tapadera. En el lado opuesto, la huella de exposición al calor no permite afirmar que se trate del negativo del objeto porque no hay clara evidencia de rebaje, aunque sí se aprecia una fina incisión en el lado izquierdo del fragmento (Fig. 9.6b). El mal estado de conservación de este lado del molde, probablemente debido a las elevadas temperaturas a las que había sido sometido, parece sugerir que la piedra sufrió un fuerte choque térmico y que, por tanto, podría haber estado en contacto directo con el caldo metálico mientras que en la otra superficie utilizada como tapadera, los vapores del vertido justificarían la menor intensidad de la afectación térmica.

En este caso se trataría de parte de un molde polivalvo, ya que tendríamos una primera valva con la impronta del objeto a fundir, otra valva cuya cara inferior serviría de tapadera y la superior presentaría otro rebaje, para terminar con otra tapadera. Se trataría pues de varias valvas apiladas, usadas para aprovechar una única operación de fundición y vertido del metal, como en el caso del ya mencionado molde de Cuesta del Negro (Molina y Pareja 1975). También se puede suponer un uso diferente en el tiempo,

es decir, primero fue empleado como molde propiamente dicho y, una vez inutilizado, se podría haber empleado como tapadera.

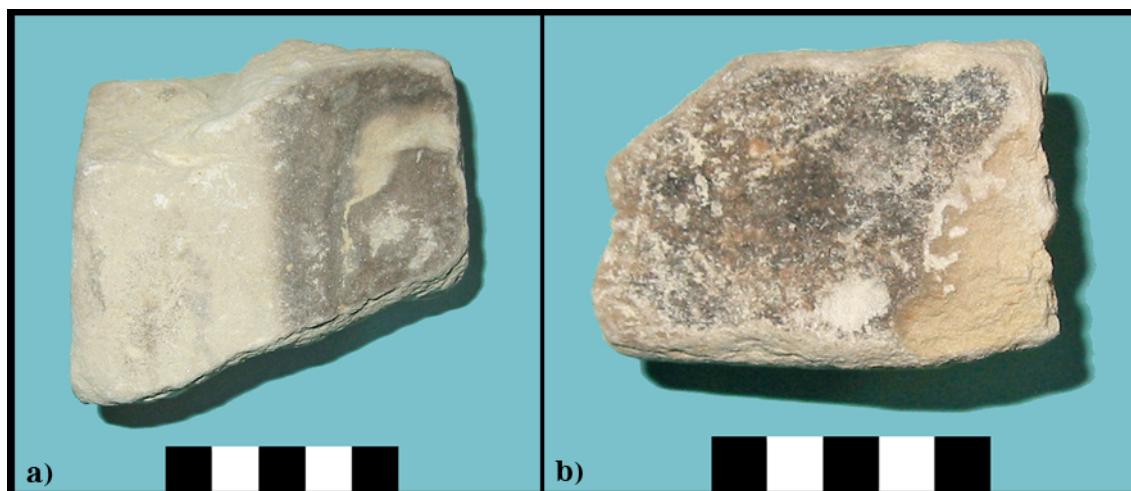


Fig. 9.6. Fragmento del molde F11087, procedente de La Fonteta: a) cara utilizada como tapadera; b) cara con un posible rebaje.

F21113 es un fragmento de molde univalvo de tipo cerrado y múltiple, es decir que se podía usar para la producción de más objetos a la vez. Una de las caras presenta un rebaje de sección completa, un posible segundo rebaje –ambas con evidentes signos de afectación térmica– y una marca rojiza de afectación por el calor. En la cara inferior del bloque hay dos líneas paralelas incisas que parecen corresponder a un boceto del objeto a fundir, ya que la anchura es similar a la del negativo en la cara superior del molde (Fig. 9.7). La impronta con sección completa presenta paredes paralelas y una anchura de 31 mm, pero la rotura del fragmento en la zona superior no permite reconstruir la longitud del objeto a fundir.

La profundidad del rebaje varía levemente a lo largo de su desarrollo (1,9-2,1 mm), siendo más profundo en la zona próxima al cono de vertido, como se aprecia también por la mayor anchura y depresión de la huella de afectación térmica en esta zona que correspondería a la mazarota (Fig. 9.8). Del otro rebaje se aprecia sólo el arranque de la incisión en el lado derecho del fragmento, justo a la altura de la fractura, no permitiendo medir exactamente su profundidad aunque parece que esté alrededor de 1,8 mm (Figs. 9.7 y 9.8).

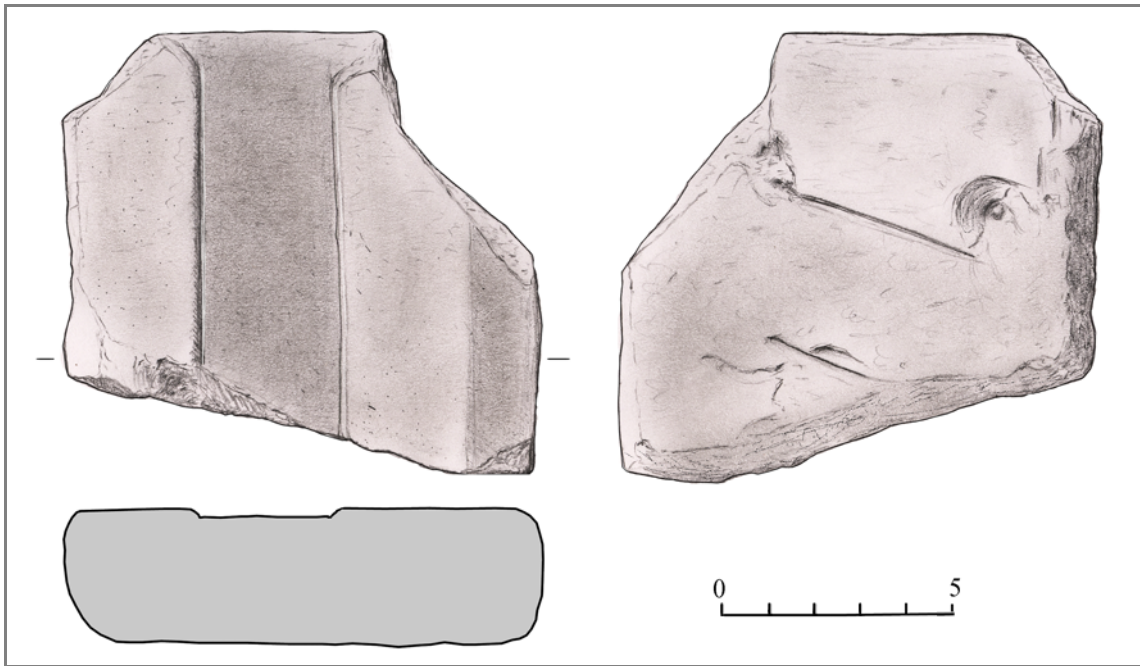


Fig. 9.7. Fragmento del molde F21113, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.



Fig. 9.8. Fragmento del molde F21113, procedente de La Fonteta.

También en este caso el desarrollo longitudinal de la impronta es delineado por las marcas del vertido directo de metal. La distancia entre los dos rebajes y la zona de tapadera es bastante regular, estando cerca de 30 mm.

Por tanto, de acuerdo con lo que se puede apreciar en la parte conservada de la pieza, se trata de un molde de doble cama usado también como tapadera, implicando la existencia de otra valva simétrica en la que habría un rebaje a la altura de la marca rojiza que presenta nuestro fragmento, y otras dos huellas negruzcas en correspondencia de las dos improntas del objeto. No obstante, no sabemos si el molde fue utilizado a la vez como valva para la producción de objetos y como tapadera, o si se cambió su

función por alguna fractura o mala conservación del bloque de piedra. La sección completa del rebaje nos proporciona evidencias validas para afirmar que este molde se estaba utilizando para producir lingotes-hacha, ya que tanto el tamaño como el grosor del negativo del objeto a fundir son compatibles con las dimensiones de las piezas metálicas encontradas en los yacimientos arriba mencionados. Este fragmento fue recogido en el Corte 8 y pertenece a la fase III (FA).

Del mismo corte y estrato, por tanto adscribibles a la misma fase (FA), proceden los fragmentos F21114 y F21115. En ambos casos, parece tratarse de moldes para producir lingotes-hacha.

El molde **F21114** es univalvo de doble cama; se aprecian dos rebajes de sección incompleta con manchas rojizas de fuego y las zonas de alimentación del molde. Ambos negativos presentan una profundidad que varía aproximadamente entre 1,7 y 2 mm, siendo más profundos en la zona correspondiente al cono de vertido donde se aprecia un ensanche de la impronta (Fig. 9.9). La distancia entre los dos rebajes, como para otros ejemplares, es de 30 mm.



Fig. 9.9. Fragmento del molde F21114, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.

El fragmento **F21115** también pertenece a un molde univalvo y, en la parte conservada, sólo presenta un rebaje (Fig. 9.10a). Su profundidad es coherente con la de los rebajes de los otros fragmentos de La Fonteta (aprox. 1,8-2,1 mm), siendo ligeramente mayor en la zona del cono de vertido del que se aprecia el ensanche en el

extremo del molde. En la cara opuesta se observa una mancha negruzca y cuatro incisiones paralelas de grosor y profundidad variables, cuya función no está clara (Fig. 9.10b).



Fig. 9.10. Fragmento del molde F21115, procedente de La Fonteta: a) cara con un rebaje; b) cara con algunas incisiones paralelas.

El fragmento **F21116** se recogió en la escombrera del Corte 5 y pertenece a la fase II (FA). Es un molde de doble cama muy afectado por el calor y con evidentes manchas rojizo-negruzcas (Fig. 9.11).



Fig. 9.11. Fragmento del molde F21116, procedente de La Fonteta.

Los rebajes están fracturados: el de la derecha presenta mayor profundidad (1,9 mm) con respecto al de la izquierda (1,55 mm). La distancia entre los negativos es de aproximadamente 30 mm en su punto medio, siendo los dos rebajes irregularmente paralelos entre ellos. Probablemente sirvió para fundir lingotes-hacha.

El resto de los moldes seleccionados proceden de la escombrera del Corte 54-1 y pertenecen todos a la fase arcaica de La Fonteta (fases I-III). El fragmento **F33665** es un molde de doble cama, como parecen indicar las incisiones lineales que coinciden en ambos lados con la fractura del fragmento y que podrían corresponder al arranque de los rebajes. En el caso de la incisión a la derecha en la figura 9.12, se aprecia que el lateral del molde fue pulido probablemente para reparar la fractura (Fig. 9.13); también se ha supuesto que esta línea incisa podría corresponder a la parte hembra de un sistema de acoplamiento para un mejor ajuste de la valva con la tapadera pero, de momento, la falta en La Fonteta de otros fragmentos de moldes que presenten elementos interpretables como partes machihembradas para el acople de las matrices no apoya esta interpretación.



Fig. 9.12. Fragmento del molde F33665, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.



Fig. 9.13. Fragmento del molde F33665, procedente de La Fonteta: lado fracturado y reparado.

Del otro rebaje sólo se apreciaba una pequeña parte en la zona central del fragmento. La distancia entre las dos improntas es mayor que en los otros casos (37 mm), y esta zona central además presenta unas líneas incisas que parecen corresponder al boceto de un dibujo del negativo del objeto a fundir, que luego fue tachado (Fig. 9.12).

La cara inferior del fragmento fue utilizada como tapadera y se apreciaba claramente la huella de afectación térmica correspondiente a una parte de la pieza fundida, con el ensanche del cono de vertido bien marcado (Fig. 9.14). En esta misma cara también hay una línea incisa que podría corresponder a parte de un dibujo de la impronta pero la fractura no permite determinarlo.



Fig. 9.14. Fragmento del molde F33665, procedente de La Fonteta: lado usado como tapadera.

Como para el ejemplar F11087, podríamos estar ante un fragmento de molde univalvo doble, es decir de un molde polivalvo con la matriz central lisa por los dos lados actuando como tapadera. La zona de los rebajes, por estar fracturada, no permite reconstruir el tipo de objeto fundido pero la marca rojiza de la tapadera corresponde a media sección de un objeto que, también en este caso, parece poderse identificar con un lingote-hacha.

F35689 corresponde a un fragmento de molde univalvo de doble cama (Fig. 9.15). Uno de los rebajes tiene sección completa con signos de afectación térmica, profundidad variable (1,8-2 mm) y una anchura de 30 mm.



Fig. 9.15. Fragmento del molde F35689, procedente de La Fonteta. En el lado izquierdo se aprecia el arranque del segundo rebaje. Dibujo realizado por Félix García Díez.

Del segundo rebaje apenas se aprecia parte de la incisión en el lado izquierdo del fragmento y coincide con la fractura del molde (a la izquierda en el dibujo de la Fig. 9.15); la distancia entre los dos rebajes es de aproximadamente 38 mm. Se trata de otro ejemplar de molde para producir lingotes-hacha.

El fragmento **F35691** también pertenece a un molde de doble cama; las dos improntas presentan evidentes signos de afectación térmica y la distancia entre ellas, como para F33665, es de 37 mm. En el rebaje de la izquierda (Fig. 9.16), se aprecia parte del talón del lingote-hacha y la profundidad del rebaje es de 1,1 mm,

correspondiendo probablemente a la zona del filo. El otro rebaje tiene una profundidad de 1,6 mm.

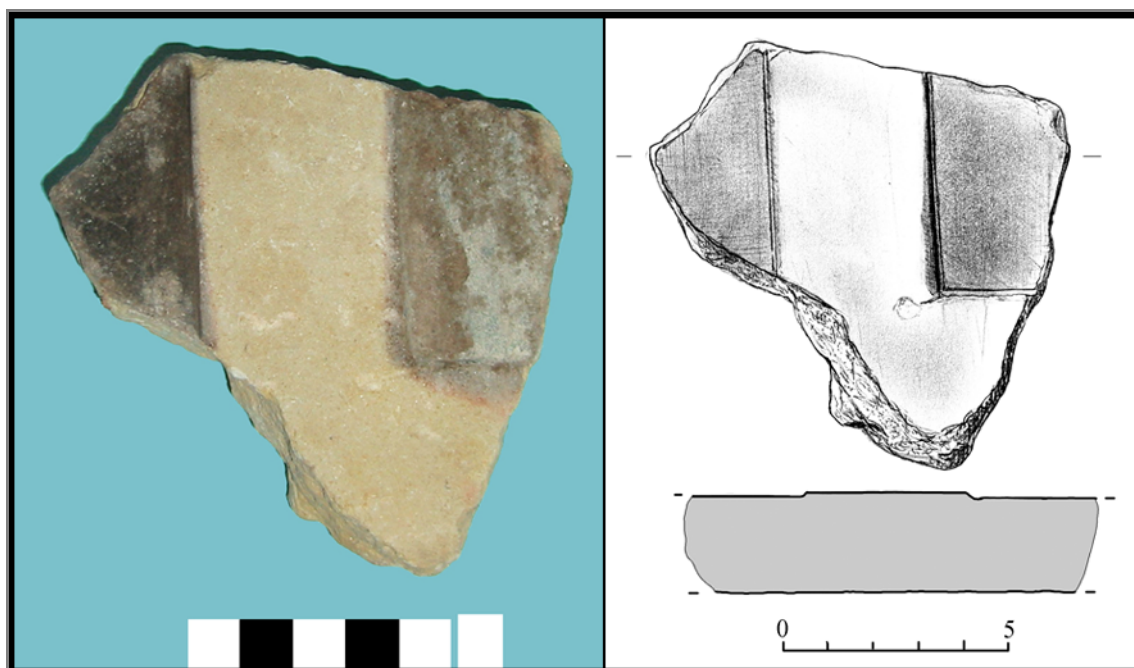


Fig. 9.16. Fragmento del molde F35691, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.

En ambas improntas las huellas de exposición al calor son más negruzcas con respecto a otros ejemplares, y se ha supuesto que podría tratarse de una capa de recubrimiento de la cama con alguna sustancia orgánica que, a la vez de proteger el molde, facilitara la extracción del objeto producido, como ha sido documentado para otros moldes tanto contemporáneos como más tardíos. Por ejemplo, un molde de esteatita usado para fabricar hachas planas, procedente de Casarão da Mesquita 3 (São Manços, Évora, Portugal) y fechado en el Bronce Final, estaba recubierto por una fina capa de alguna sustancia negruzca polvorienta. Como indican los análisis químicos realizados por vía húmeda para detectar eventuales contenidos de fósforo y por ED-XRF, se trata de algún material orgánico, posiblemente hollín obtenido mediante la combustión de huesos (Monge Soares *et al.* 2007). En el caso de nuestro fragmento, no ha sido posible realizar un estudio analítico pero podría tratarse de un caso similar.

F41361 es un fragmento de tapadera de molde que presenta manchas rojizas en la cara plana y en uno de los lados cortos (Fig. 9.17), correspondiendo probablemente al lado por el que se vertía el metal. La huella de afectación térmica en la superficie lisa es

bastante extensa y se aprecia la marca del objeto a fundir que presenta forma cuadrangular y que, también en este caso, parece ser un lingote-hacha del que se aprecia la parte que correspondería al talón.



Fig. 9.17. Fragmento del molde F41361, procedente de La Fonteta.



Fig. 9.18. Fragmento de molde F41362.

El molde **F41362** es de doble cama y está muy afectado por las elevadas temperaturas a las que estuvo sometido (Fig. 9.18).

Presenta un rebaje de 1,9 mm y otro de 1,3 mm cuya menor profundidad, como para el fragmento F35691, podría depender de que se trata de la zona del filo. La distancia entre los rebajes es de poco más de 20 mm y la profundidad de las improntas sugiere que el molde fue utilizado para producir el mismo tipo de pieza que los anteriores.

El fragmento **F50052** también pertenece a un molde de doble cama para fundir lingotes-hacha. Uno de los rebajes presenta 1,7 mm de profundidad y el segundo 2,1 mm. En el caso del rebaje de la derecha (Fig. 9.19), la impronta de la anchura del objeto

a fundir parece estar completa y mide alrededor de 31 mm. La distancia entre los negativos es de 20 mm.



Fig. 9.19. Fragmento del molde F50052, procedente de La Fonteta.

F50056 es un fragmento de arenisca que no presenta huellas de afectación térmica, pero una de las caras es lisa y tiene unas líneas incisas que parecen corresponder al boceto del objeto a fundir (Fig. 9.20). Como en otros casos, el dibujo fue luego tachado; no es por tanto un molde propiamente dicho sino una prueba de molde. La anchura del objeto que se quería reproducir es de 26,6 mm en su punto medio y de 18,2 mm en el talón, unas medidas que se aproximan a las de los lingotes-hacha, aunque sean inferiores con respecto a las que se han podido documentar en los pocos ejemplares de molde de La Fonteta cuya impronta presentaba la sección completa. Probablemente este error en el estrechamiento del talón hizo que se desestimase continuar trabajándolo.

F50150 es un pequeño fragmento de molde en el que se aprecia parte del rebaje que reproduce una de las esquinas del objeto a fundir, probablemente la zona del talón del lingote-hacha (Fig. 9.21). La profundidad del negativo es de 1,8 mm.

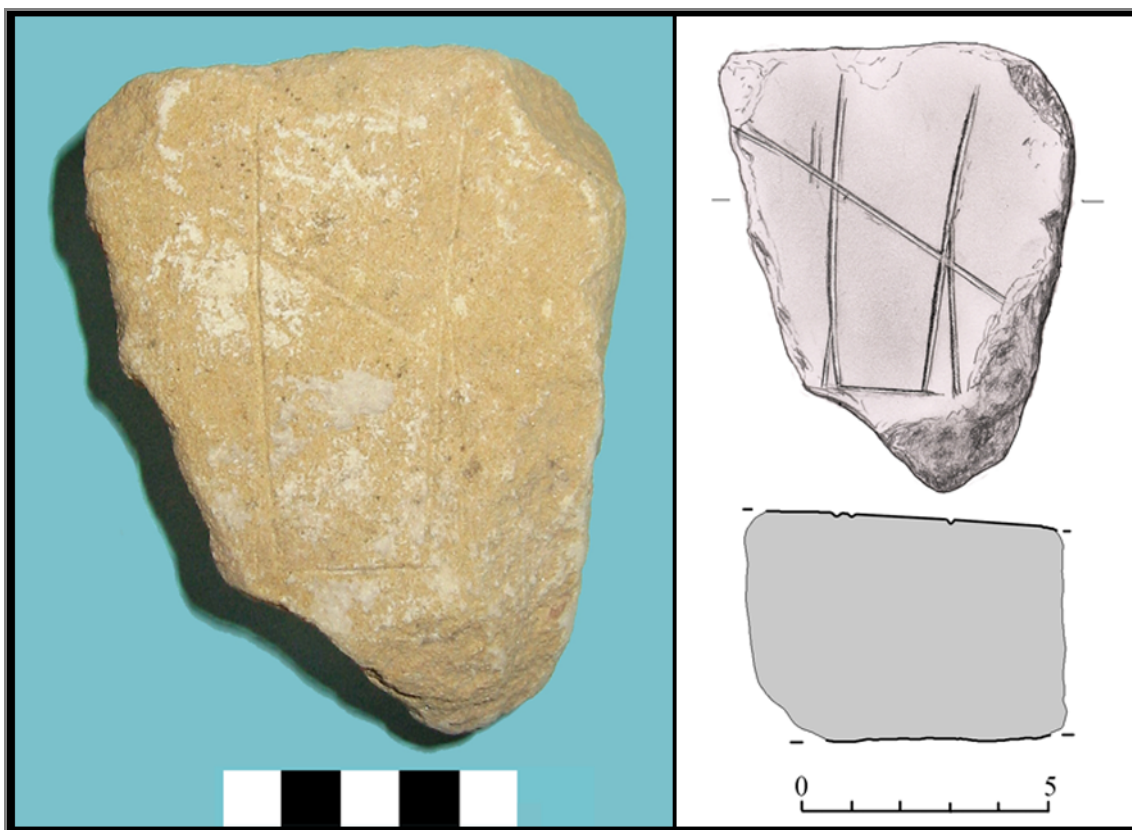


Fig. 9.20. Fragmento del molde F50056, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Félix García Díez.



Fig. 9.21. Fragmento del molde F50150, procedente de La Fonteta.

El fragmento **F50173** pertenece a un molde de doble cama para fundir lingotes-hacha que ha sido fabricado con piedra arenisca de color más marrón-rojizo. Las improntas no presentan evidentes marcas de afectación térmica (Fig. 9.22a); por el contrario, el lado corto conservado fue expuesto a una fuente de calor, probablemente a

causa de las coladuras del metal en la zona terminal del objeto (Fig. 9.22b). A pesar de que se haya preservado sólo una pequeña porción de una de las camas del molde, se ha podido medir su profundidad que es de 1,85 mm, mientras que el rebaje de la derecha mide 1,7 mm. La distancia entre las dos improntas es de 32 mm.

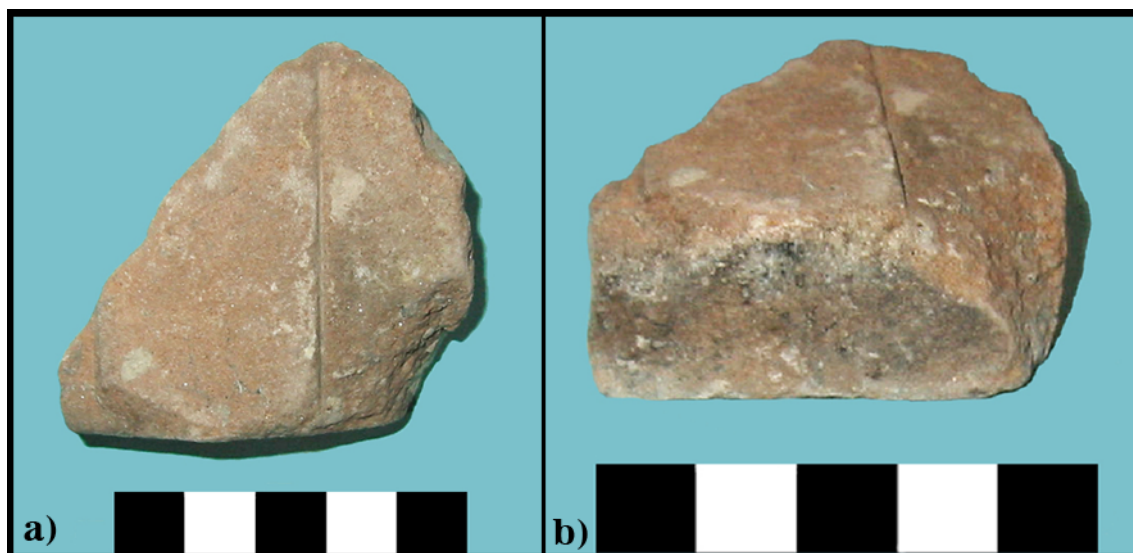


Fig. 9.22. Fragmento del molde F50173, procedente de La Fonteta: a) cara superficial con rebajes; b) lado corto en el que se aprecian signos de afectación térmica.



Fig. 9.23. Fragmento del molde F50175, procedente de La Fonteta.

El molde **F50175** también es de doble cama; la cara superior presenta un color más negruzco (Fig. 9.23), posiblemente debido a las altas temperaturas y a los vapores del caldo metálico o, como para el fragmento F35691, por el uso de alguna sustancia orgánica empleada como capa de recubrimiento de la impronta del objeto. Tampoco en este caso ha sido posible realizar el estudio analítico de la pieza para confirmar esta hipótesis.

Los dos rebajes están a 27 mm de distancia el uno del otro y

tienen profundidades levemente distintas, siendo uno de 1,6 mm y el otro de 1,7 mm de profundidad. Al igual que la mayoría de los fragmentos estudiados, este molde fue empleado para la producción de lingotes en forma de hacha.



Fig. 9.24. Fragmento del molde F62080, procedente de La Fonteta.

F62080 es un pequeño fragmento de molde. Su tamaño reducido y su mal estado de conservación, no proporcionan mucha información (Fig. 9.24). En una de las caras se aprecia una capa negruzca muy afectada por el choque térmico y podría corresponder a una porción de la cama del molde. Como indica su coloración uniformemente rojiza, la piedra arenisca

empleada en este caso parece corresponder a un tipo diferente respecto a la que se utilizó para fabricar la mayoría de los otros moldes encontrados en el yacimiento y que suele presentar un color más amarillento.

En la Tabla 9.2 se muestra el resumen de las medidas de los rebajes de los moldes líticos para fundir lingotes-hacha de La Fonteta.

Molde	Profundidad (en mm)		Anchura (en mm)	
	1 ^{er} rebaje	2 ^o rebaje	1 ^{er} rebaje	2 ^o rebaje
F10084	1,75		30 (sección completa?)	
F11051	1,5	1,5	nr	>28
F21113	2,1	1,8 (?)	31 (sección completa)	nr
F21114	2	2	nr	nr
F21115	2,1		>27	
F21116	1,55	1,9	>26	>24
F35689	2		30 (sección completa)	
F35691	1,1 (filo?)	1,6	>21,5	>29,8
F41362	1,9	1,3 (filo?)	nr	>24
F50052	1,7	2,1	nr	31 (sección completa?)
F50150	1,8		nr	
F50173	1,85	1,7	nr	>22
F50175	1,7	1,6	>26	>20

Tabla 9.2. Medidas de los rebajes de los moldes líticos para fundir lingotes-hacha de La Fonteta (nr: no reconstruible).

9.2.2 Los moldes de arcilla

Los dos ejemplares encontrados fueron recogidos en los estratos de vertidos metalúrgicos del Corte 54-1 y pertenecen a la fase II. Se trata de fragmentos de arcilla cocida cuya identificación no está del todo clara, aunque las superficies lisas y con un lado plano, el tipo de pasta cerámica empleada, la presencia de desgrasantes vegetales y los signos de afectación térmica, son todos elementos que sugieren que se trate de fragmentos de moldes.

En ninguno de los dos casos se ha podido determinar el objeto a fundir y no se han detectado restos de escorificación adherida que permitan identificar la composición del metal empleado para la fabricación de las piezas a fundir. Tampoco se han podido diferenciar las dos capas que suelen formar los moldes de arcilla –una parte externa que sujeta las valvas y el núcleo refractario interno en contacto con la pieza– y que han sido documentadas en varios ejemplares contemporáneos, como por ejemplo los moldes de arcilla de Peña Negra en Crevillente, Alicante (González Prats 1985).

El fragmento **F55025** es parte de un molde para reproducir un objeto de tendencia rectangular con una cara plana o podría ser parte de una posible lingotera (Fig. 9.25).



Fig. 9.25. Fragmento del molde F55025, procedente de La Fonteta.

El examen macroscópico de la arcilla empleada para fabricar este molde muestra un material depurado; la pasta tiene una textura bastante compacta y es de color claro, rosado-marrón, con desgrasantes vegetales y algunas inclusiones de mica apreciables a simple vista. La cara superior no presenta claras huellas de afectación térmica, aunque

parece haber estado expuesta a altas temperaturas, tanto por la cocción de la pasta como por la deformación de sus superficies; la cara opuesta es lisa y presenta marcas más evidentes de exposición al calor respecto a la cara superior. El rebaje tiene 11 mm de profundidad y las dos secciones del molde no presentan el mismo grosor (Fig. 9.26), por tanto la impronta del objeto no resulta del todo horizontal presentando cierta inclinación.

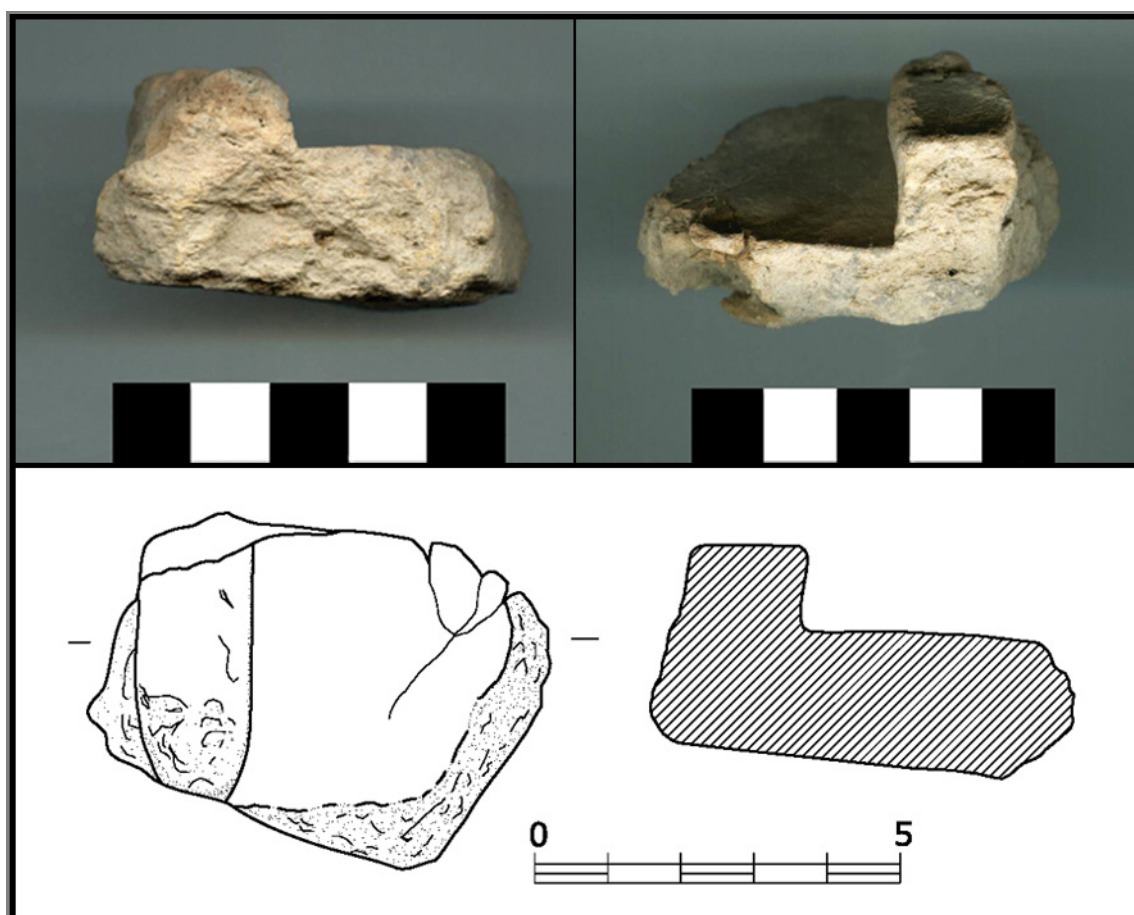


Fig. 9.26. Fragmento del molde F55025, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Esteban Moreno Guerrero.

El segundo fragmento de molde de arcilla, **F62088**, es de difícil interpretación. En la cara superior se aprecian las marcas en negativo del posible objeto a fundir (Fig. 9.27) y parece destinado a fabricar una pieza de morfología compleja, aunque no se ha podido determinar de qué pieza se trata. No hay huellas de afectación térmica, mientras que la cara inferior es lisa y está ennegrecida por la acción del fuego. La pasta cerámica, como en el caso anterior, es clara y bastante depurada; su textura es porosa, presenta desgrasantes vegetales y se ha detectado la presencia de inclusiones de mica de tamaño fino.

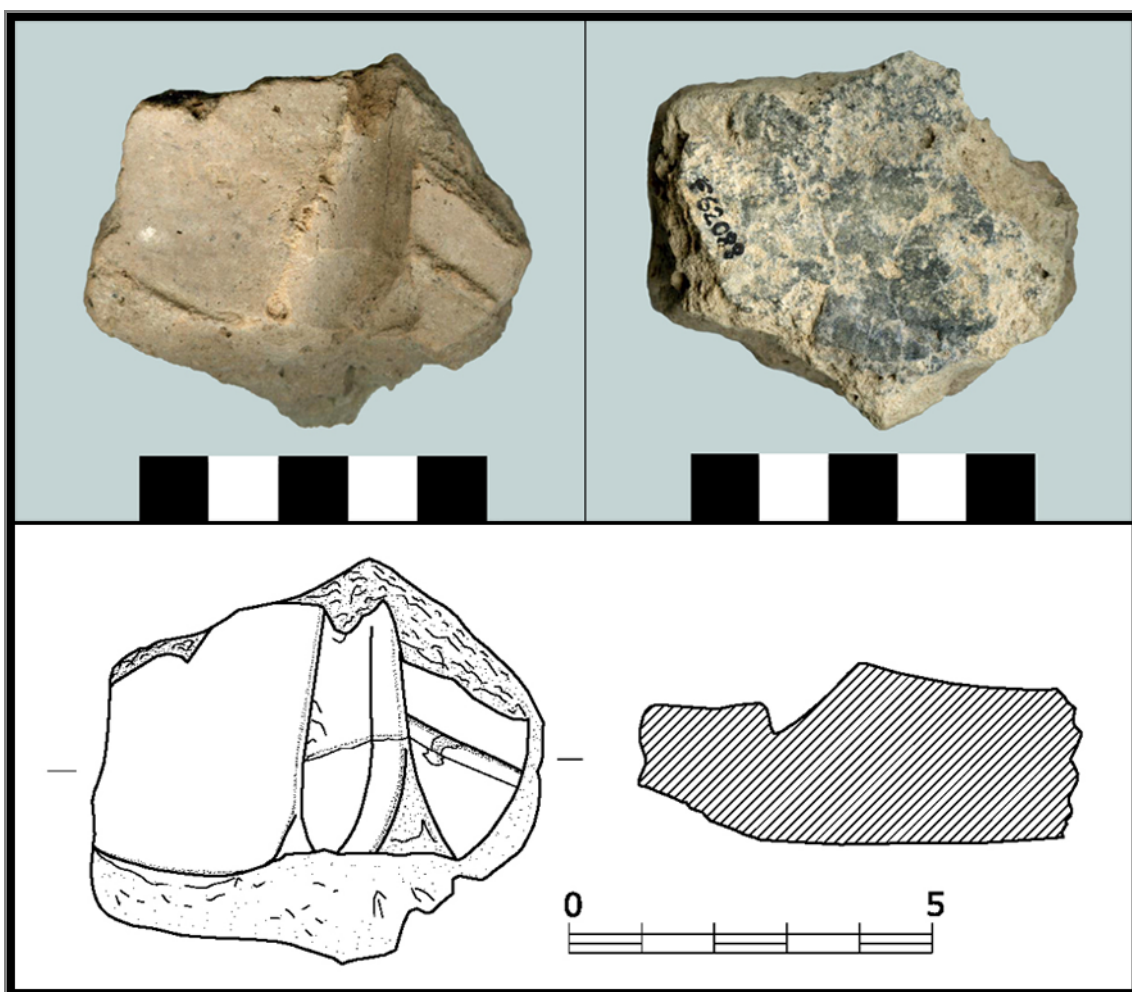


Fig. 9.27. Fragmento del molde F62088, procedente de La Fonteta. Dibujo realizado por Esteban Moreno Guerrero.

Con el objetivo de identificar los componentes arcillosos empleados y la presencia de eventuales restos metálicos que la pasta cerámica podría haber absorbido durante el vertido del caldo, se han realizado análisis de superficie de ambos fragmentos mediante SEM-EDX. Las determinaciones analíticas se han efectuado en varias zonas de los moldes barriendo ventanas a una magnificación de 150x; para ambos ejemplares los resultados obtenidos muestran que la composición de la pasta cerámica es homogénea en los distintos puntos analizados y no se ha detectado la presencia de ningún metal que permita determinar la composición de las piezas fabricadas con estos moldes. Las características de la arcilla permiten considerarla suficientemente refractaria, ya que es bastante rica en sílice y con un contenido apreciable de aluminio; además tiene escasa presencia de hierro y de metales alcalinos, como los crisoles estudiados por Bayley y Rehren (2007). Asimismo, en las dos muestras analizadas de La Fonteta destaca una especial riqueza en calcio que acompaña a los componentes arcillosos (Tabla 9.3).

Análisis	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	SO ₃	Cl ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	CaO	FeO	BaO
F55025-1	19,20	2,99	7,75	22,46	0,55	nd	0,11	0,24	2,39	0,22	39,22	4,04	0,84
F55025-2	16,31	3,18	8,37	27,27	0,94	0,55	0,46	0,31	2,19	0,56	36,44	3,45	nd
F55025-3	16,56	3,84	9,31	24,10	1,16	0,70	0,44	0,27	2,11	0,65	37,40	3,47	nd
F62088-1	14,80	4,10	9,61	27,73	1,06	nd	0,33	0,29	2,60	0,10	34,47	3,82	1,07
F62088-2	18,23	3,63	9,10	26,37	0,44	nd	0,32	0,28	2,51	0,29	33,96	3,32	0,94
F62088-3	16,32	2,75	8,43	23,96	0,49	0,15	0,12	0,30	2,77	0,33	39,17	4,29	0,93
F62088-4	27,79	1,74	3,43	10,00	1,59	0,26	2,15	0,32	1,23	nd	49,77	1,82	nd

Tabla 9.3. Resultados SEM-EDX de la pasta cerámica de los moldes de arcilla de La Fonteta (expresados como óxidos, % en peso; nd: no detectado).

Desde mi punto de vista, en consideración de la edafología de la zona de Guardamar del Segura, esta abundante presencia de calcio (una media de aproximadamente 35-40% CaO) es debida a contaminación del suelo, así como las trazas de sodio y de cloro se pueden justificar por el ambiente salino del entorno del yacimiento. Otros autores han supuesto que la riqueza en calcio y la presencia de carbono pudieran depender de una adición intencional de carbonato cálcico a la arcilla; éste es el caso de los moldes de arcilla encontrados en Peña Negra para cuya fabricación se sugirió que se estaba utilizando deliberadamente calcita, supuestamente por su poder antioxidante que permitirá obtener piezas más brillantes y con un acabado más refinado (González Prats y Ruiz-Gálvez 1989: 371-372). En realidad, no hay evidencias claras para esta época de adición intencional de carbonato cálcico a la cerámica; de hecho, varios estudios analíticos realizados sobre cerámica técnica, sobre todo sobre crisoles, han demostrado que por lo menos hasta época medieval no se puede hablar de una selección de arcillas específicas para fabricar recipientes cerámicos con distinta funcionalidad; sólo en época romana empiezan a documentarse mejoras tecnológicas, ya que las propiedades requeridas por la pasta cerámica se obtenían añadiendo a la arcilla distintos tipos de desgrasantes o eligiendo determinadas formas que adaptaran mejor los recipientes a la función y uso requeridos (Bayley y Rehren 2007; Freestone 1989). Además, tratándose en este caso de suelo calizo y de una zona marina, tanto el calcio como los otros elementos minoritarios detectados pueden explicarse como elementos contaminantes debidos a la naturaleza del suelo que han sido absorbidos por la pasta cerámica.

Por lo que concierne al carbono, su elevado contenido podría depender de la composición caliza de los suelos del área de La Fonteta pero, como parecen sugerir también las trazas de azufre y de fósforo detectadas, estaría vinculado principalmente a la presencia de materia orgánica por el uso de desgrasantes vegetales, apreciables a simple vista en la pasta cerámica.

Del fragmento F62088 se ha analizado también la cara inferior que presentaba evidentes signos de afectación térmica. El análisis de esta zona (F62088-4, Tabla 9.3) muestra una mayor riqueza del sistema en calcio, azufre, carbono y fósforo. Se ha supuesto, por tanto, que el ennegrecimiento de la cara lisa fuera debido a una presencia más abundante de humo y que, tratándose de la zona inferior del molde, estaríamos ante

una contaminación debida a un suelo caracterizado por una mayor riqueza de materia orgánica.

En conclusión, los dos fragmentos de moldes de arcilla de La Fonteta presentan una composición química similar en la que no se han podido detectar restos de cobre, estaño, plomo o metales nobles; por tanto, actualmente no tenemos evidencia del tipo de metal o aleación que estaban empleando para la producción de las piezas fundidas en estos moldes.

10. LOS ELEMENTOS METÁLICOS

La Fonteta ha proporcionado una cantidad significativa de elementos metálicos de distinto tipo y composición. Estos materiales han sido recogidos en todos los cortes excavados y su cronología cubre las distintas fases de habitación del yacimiento. Pero, por acuerdo con el director de las excavaciones, no se ha realizado el estudio de todo el conjunto, ya que no se incluye la mayoría de las piezas completas y de tipología más singular.

Entre los elementos disponibles para su examen, se ha efectuado una selección de más de cien piezas que incluye objetos fabricados con los distintos metales usados en la época, a excepción de la plata y del oro; en particular, se han analizado piezas de base cobre, de plomo y de hierro. Generalmente, todos los objetos estudiados están fragmentados y muy afectados por problemas de corrosión.

10.1 LOS OBJETOS DE BASE COBRE

Se han estudiado sesenta y cinco elementos de base cobre que corresponden en gran parte a fragmentos de objetos de distinta morfología, en ocasiones de difícil clasificación. Se han documentado sobre todo pequeñas herramientas de uso cotidiano – como agujas, anillas, punzones, varillas, anzuelos, etc.–, algunos elementos de adorno personal – como fíbulas, brazaletes y pendientes – y apliques de distinto tipo. También se han identificado dos posibles fragmentos de lingote, un fragmento de lingote-hacha – del que se hablará luego más detenidamente – y varios elementos metálicos indeterminados (recortes de láminas y planchas, barritas de metal, etc.). Por su estado fragmentado, puede que estos objetos correspondan mayoritariamente a metales amortizados y destinados a la refundición (Fig. 10.1).

En general se trata de piezas de pequeño tamaño y manufactura sencilla. La mayoría de ellas presentan un avanzado estado de oxidación, estando a veces del todo mineralizadas.

Casi la mitad de estos objetos (46%) ha sido recogida en los estratos de vertidos metalúrgicos del Corte 54-1 y pertenece a las fases I-II del yacimiento; un 26% procede de los Cortes 5N y 5, y cubre tanto las fases II-III de La Fonteta Arcaica como las

primeras fases de La Fonteta Reciente (IV-VI). El Corte 14 ha proporcionado un 12,5% del total de los objetos estudiados y son todos de la fase III; un 8% procede del Corte 8 y ha sido atribuido a las fases IV-VI, mientras que los materiales restantes –con la excepción de uno procedente del Corte 7 (fase III)– han sido recogidos en los estratos de relleno del Corte 65 y en el Sondeo A3; estas cuatro piezas no tienen una cronología precisa y han sido fechadas genéricamente dentro de las fases VI-IX de FR (Tabla 10.1).



Fig. 10.1. Pequeñas acumulaciones de metales amortizados recogidos en distintos cortes de La Fonteta.

	Corte 14	Corte 54-1	Corte 5N	Corte 5	Corte 7	Corte 8	Corte 65	Sondeo A3	Tot.
Fase I	0	7	0	0	0	0	0	0	7
Fase II	0	23	4	1	0	0	0	0	28
Fase III	8	0	0	5	1	0	0	0	14
Fase IV	0	0	0	2	0	1	0	0	3
Fase V	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Fase VI-IX	0	0	0	3	0	4	3	1	11
Tot.	8	30	6	11	1	5	3	1	65

Tabla 10.1. Distribución por fases y cortes de los elementos metálicos de base cobre seleccionados de La Fonteta.

Del conjunto de objetos de base cobre estudiados, se ha efectuado una selección de cincuenta muestras para su análisis por ED-XRF escogiendo las que presentaban un mejor estado de conservación –es decir, que conservaban por lo menos parte del núcleo metálico– y una tipología reconocible. El uso de esta técnica analítica ha permitido determinar su composición elemental y distinguir entre los elementos de cobre sin alear y los que han sido fabricados con sus distintas aleaciones. El resultado obtenido nos proporciona la siguiente distribución: cuatro objetos de cobre sin alear, treinta y tres de bronce binario, doce de bronce ternario y una aleación de cobre-plomo.

Por convención se ha clasificado como bronce binarios todos los elementos metálicos con un contenido de estaño superior al 1% Sn –aunque en algunos casos podría tratarse de impurezas del metal empleado–, y como bronce ternarios los que presentan más del 1% Sn y un contenido de plomo mayor del 2% Pb.

10.1.1 Los cobres sin alear

Los objetos de cobre sin alear corresponden a un anzuelo, un fragmento filiforme curvo y dos fragmentos de lingotes. Se trata de cobres con contenidos apreciables de plomo que varían entre 0,35% y 1,7% Pb, con una media de 0,6% Pb y una desviación estándar $\sigma = 0,63$, aunque este valor resulta poco significativo debido al número reducido de piezas analizadas.

Tres de ellas presentan una composición elemental similar, mientras que uno de los fragmentos de lingote (F1408) se diferencia por una mayor cantidad de plata (0,17% Ag) con respecto a las otras en las que su contenido está alrededor de 0,03-0,06% Ag. Además, este lingote no presenta impurezas de estaño y de hierro que en las otras piezas están respectivamente entre 0,11-0,47% Sn y 0,18-0,44% Fe; también la presencia de antimonio es más baja (0,005% Sb). En ninguna de estos objetos se ha detectado arsénico, zinc o níquel. Los resultados se muestran en la Tabla 10.2:

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13457	Frag. filiforme curvo	F55047	0,44	nd	97,9	nd	nd	0,066	0,47	0,011	1,1
PA13315	Anzuelo	F31233	0,47	nd	97,40	nd	nd	0,043	0,38	0,014	1,66
PA13292	Lingote	F31243	0,18	nd	99,20	nd	nd	0,036	0,11	0,1	0,35
PA12130	Lingote	F1408	nd	nd	98,10	nd	nd	0,17	nd	0,005	1,71

Tabla 10.2. Resultados ED-XRF de la composición elemental de los objetos de cobre seleccionados de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

El anzuelo F31233 está prácticamente completo (Fig. 10.2a); mide 30 mm de longitud y 2,5 mm de grosor, con 1,08 g de peso; la varilla curva F55047 (Fig. 10.2b) de función indeterminada, tiene una longitud de 28 mm y un grosor de unos 3 mm (0,85 g de peso). Pero, de las piezas estudiadas destacan sobre todo los dos fragmentos de lingote por su especial función dentro de la cadena operativa para la producción de objetos, ya que no corresponden a elementos metálicos amortizados sino a materia prima en bruto. Se han encontrado en zonas diferentes del yacimiento y tienen una atribución cronológica distinta.

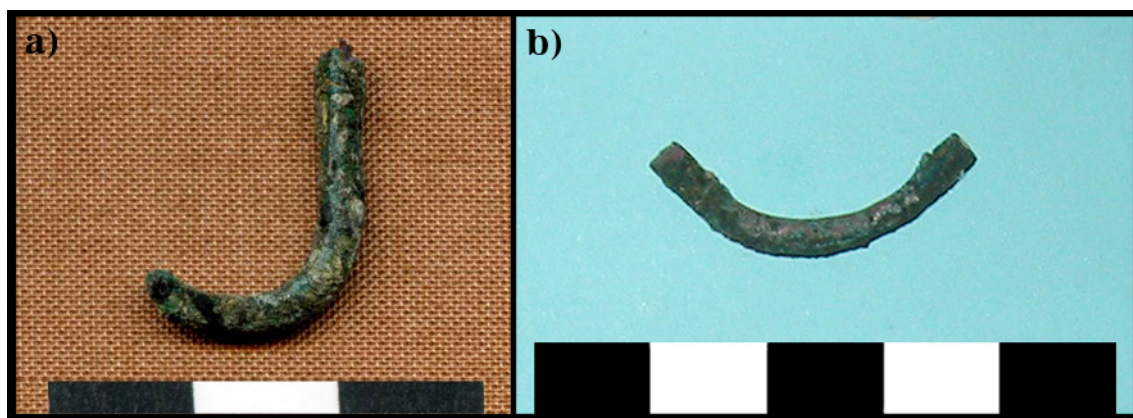


Fig. 10.2. a) Anzuelo F31233 y b) varilla curva F55047 procedentes de La Fonteta.

No se ha podido reconstruir su forma original debido al tamaño reducido de los fragmentos pero, dada la tendencia triangular de la sección (Fig. 10.3) —el grosor máximo conservado es de aproximadamente 10 mm en ambos casos—, se podría suponer que se trate de lingotes plano-convexos (Montero Ruiz *et al.* 2010-2011). Las fracturas son irregulares lo que sugiere que no se efectuó un corte limpio para separar las porciones de metal requeridas, habiendo sido cortado probablemente con una tenaza o alguna herramienta similar.

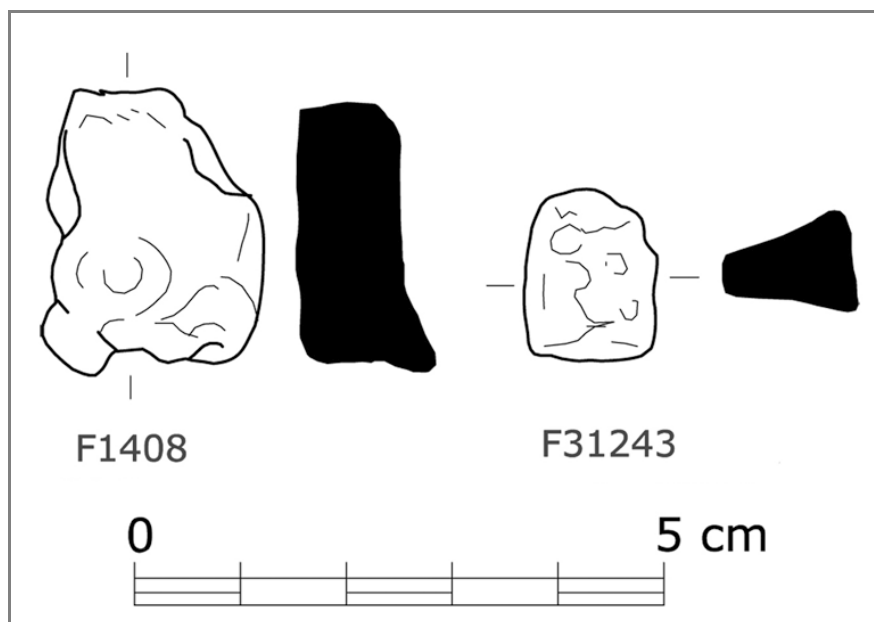


Fig. 10.3. Los dos fragmentos de lingotes de cobre seleccionados procedentes de La Fonteta. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

El fragmento F31243 (Fig. 10.4a) procede del vertedero metalúrgico excavado en el Corte 5 y pertenece a la fase III de La Fonteta; tiene una longitud de 25 mm, una anchura máxima de 15,6 mm, un grosor de 7 mm en la zona del borde y 11,3 mm en el

centro (19 g de peso). El fragmento F1408 (Fig. 10.4b) fue encontrado en uno de los primeros sondeos realizados en el yacimiento (Sondeo A3), en una zona cuyos estratos estaban muy revueltos por haberse utilizado como área de vertido de detritos domésticos; por tanto, su cronología no puede considerarse del todo fiable aunque los excavadores, debido a la tipología de los materiales encontrados en el mismo vertedero, lo atribuyen a la fase VI. Se trata de una porción de lingote de tamaño reducido, de unos 23 mm de longitud, 19 mm de anchura, un grosor de 5,2 mm en el borde y 9,47 mm en la zona central (25,2 g de peso).

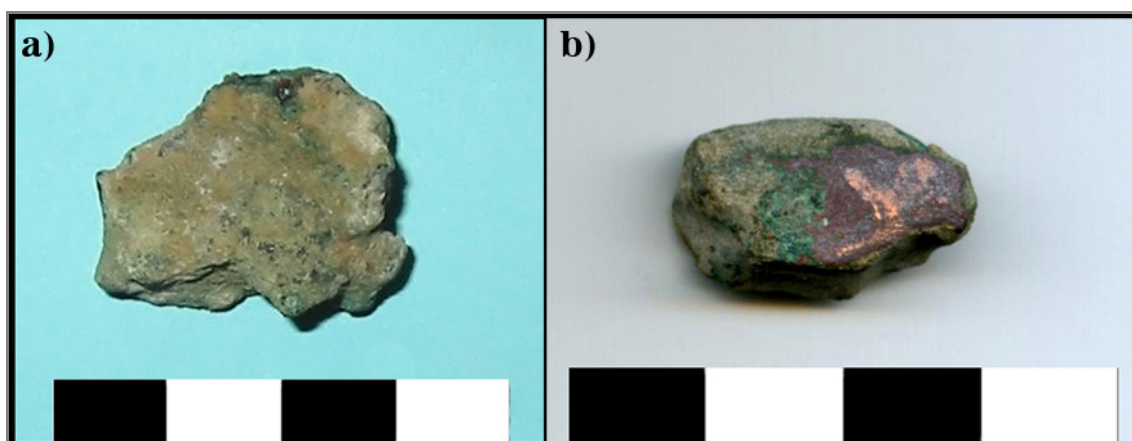


Fig. 10.4. Los dos fragmentos de lingotes de cobre seleccionados procedentes de La Fonteta: a) F31243; b) F1408.

Estos fragmentos de lingotes han sido analizados también por SEM-EDX (Tabla 10.3). En ambos casos la matriz del metal ha resultado ser un cobre sin impurezas detectables de otros metales; se ha observado la presencia de numerosas inclusiones de sulfuro, en un caso (F1408) de sulfuro de cobre con plomo y en el otro (F31243) de sulfuro de cobre (Fig. 10.5). Asimismo, en el primero de ellos se han detectado segregados de plomo y en el otro segregados de bismuto y de antimonio-plomo-bismuto.

N. Invent.	S	Cu	Pb
F1408	1,46	97,49	1,05
F31243	1,66	98,34	nd

Tabla 10.3. Resultados SEM-EDX de los análisis globales de los dos fragmentos de lingotes de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

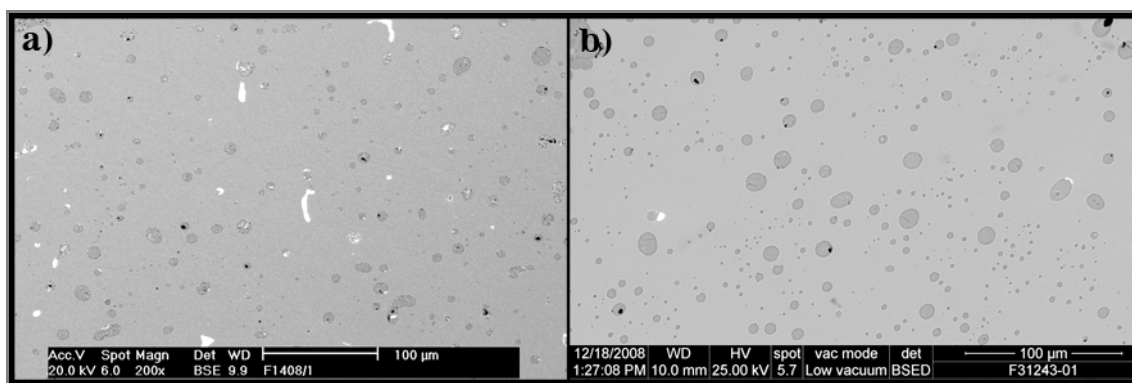


Fig. 10.5. Microestructura de los dos fragmentos de lingotes de cobre procedentes de La Fonteta: a) F1408; b) F31243. Se aprecian las inclusiones de sulfuro (de color gris intermedio) y los segregados de plomo en a) y de bismuto y antimonio-plomo-bismuto en b) (de color blanco). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Los datos obtenidos nos confirman las diferencias composicionales ya observadas por ED-XRF entre los dos fragmentos, y es probable pues que se trate de cobres de procedencia distinta. Del fragmento F1408 se ha efectuado también el análisis de los isótopos del plomo (Renzi *et al.* 2009) y, aunque de este tema se hablará más detenidamente en el capítulo dedicado al estudio de procedencia de los metales de La Fonteta (Cap. 11), los datos obtenidos sugieren una probable procedencia no peninsular para el cobre de este lingote. De momento, no ha sido posible analizar los isótopos del plomo del fragmento F31243.

Por último, de estos lingotes se ha realizado también un test de la microdureza Vickers¹ y, de nuevo, se aprecia una diferencia significativa en los valores obtenidos para cada uno de ellos, aunque en ambos casos se registra una especial dureza del metal (Tabla 10.4).

N. Análisis	N. Invent.	Número de medidas	Valor max.	Valor min.	Media	STD
PA12130	F1408	7	85,8	63,4	72,73	7,2
PA13292	F31243	12	132	104,5	115,5	8,9

Tabla 10.4. Resultados del test de la microdureza Vickers (HV) de los dos fragmentos de lingotes de La Fonteta.

El lingote F1408 tiene un valor medio de 72,7 HV, que es bastante elevado si se considera que se trata de un cobre sin alear con microestructura de fundición y sin

¹ Para medir la dureza del metal se ha utilizado un microdurómetro Remet HX-1000 de los laboratorios I+D de Arqueología del CCHS-CSIC de Madrid. El procedimiento Vickers emplea un penetrador de diamante en forma de pirámide que se aplica perpendicularmente a la superficie de la muestra, bajo la acción de una carga de 100 g. Los exámenes de microdureza han sido llevados a cabo por Mercedes Murillo Barroso.

ningún tipo de tratamiento mecánico (Fig. 10.6). En el caso del otro fragmento, F31243, la dureza ha resultado ser aún mayor, con una media de 115,5 HV.

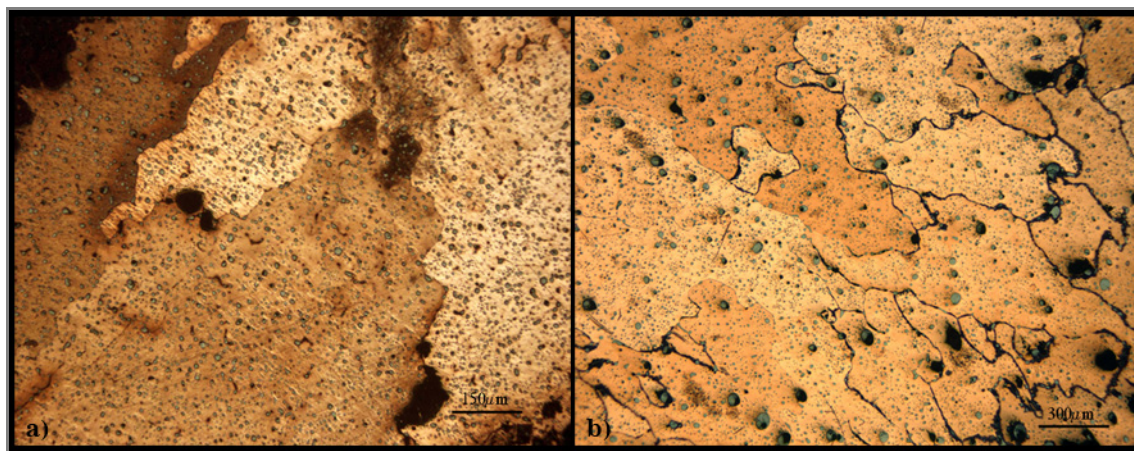


Fig. 10.6. Imágenes metalográficas tomadas en fondo claro de los dos fragmentos de lingotes de La Fonteta: a) F1408 (escala: 150 μm); b) F31243 (escala: 300 μm). Se observa una microestructura de fundición con grandes granos en los que se aprecia una diferencia de coloración del metal.

Estos valores tan elevados no son comunes ya que, según Scott (1991: 82), un cobre puro fundido debería tener una media de 40-50 HV que, en el caso de haber sido trabajado y recocido, podría alcanzar una microdureza de 50-60 HV y de 100-120 HV si está trabajado en frío.

En la observación en el microscopio óptico se aprecia una diferencia de coloración entre granos, siendo algunos más oscuros respecto a otros, y en el microdurómetro se ha comprobado que estas zonas oscuras presentan una mayor dureza que las otras (Fig. 10.6). Es posible que esta diferencia de coloración sea debida a una mayor o menor concentración de oxígeno en el metal y, según Kienlin y Pernicka (2009: 265-267), la presencia de inclusiones de óxido de tipo eutéctico-(Cu+Cu₂O) aumentaría la dureza del cobre, aunque en las muestras estudiadas por estos autores no se han observado grados de dureza mayores de 80-90 HV. En todo caso, los exámenes microscópicos apuntan a que la especial dureza de estos lingotes de cobre depende de la presencia de inclusiones de óxido en el metal que, en el caso de la muestra F31243, son más abundantes. De hecho, en algunas imágenes tomadas con el microscopio óptico en fondo oscuro, se observa la presencia de óxido cuproso alojado en los bordes de los granos (de color rojizo-anaranjado en Fig. 10.7), pero es probable que éste se encuentre también diseminado en el metal y que no sea visible a bajos aumentos.

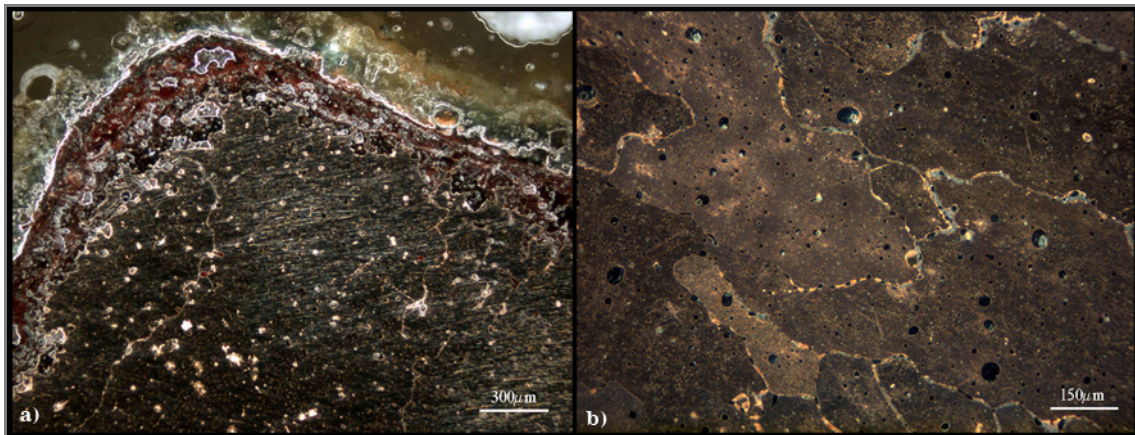


Fig. 10.7. Imágenes metalográficas tomadas en fondo oscuro de los dos fragmentos de lingotes de La Fonteta: a) F1408 (escala: 300 μm); b) F31243 (escala: 150 μm). Se aprecia una acumulación de óxido cuproso en los bordes de los granos.

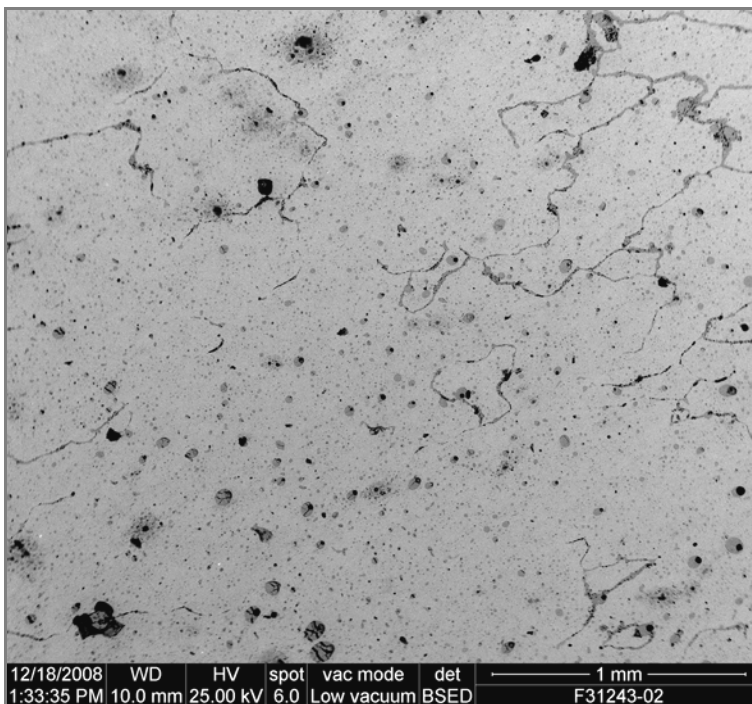


Fig. 10.8. Microestructura de la muestra F31243 en la que se aprecian los bordes de granos. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Por el contraste del metal, en las micrografías tomadas en el SEM no se observan los matices de color que supondría una distinta presencia de óxido en la matriz de cobre, aunque en una de las imágenes del fragmento F31243 (Fig. 10.8) se insinúan los bordes de los granos y se aprecian unas pequeñas

acumulaciones negruzco-grisáceas que podrían corresponder a óxido cuproso. Además, en el espectro del análisis global de la misma muestra se observa un pico apreciable de oxígeno que nos confirma la presencia de óxido de cobre en disolución micronizada en el metal (Fig. 10.9).

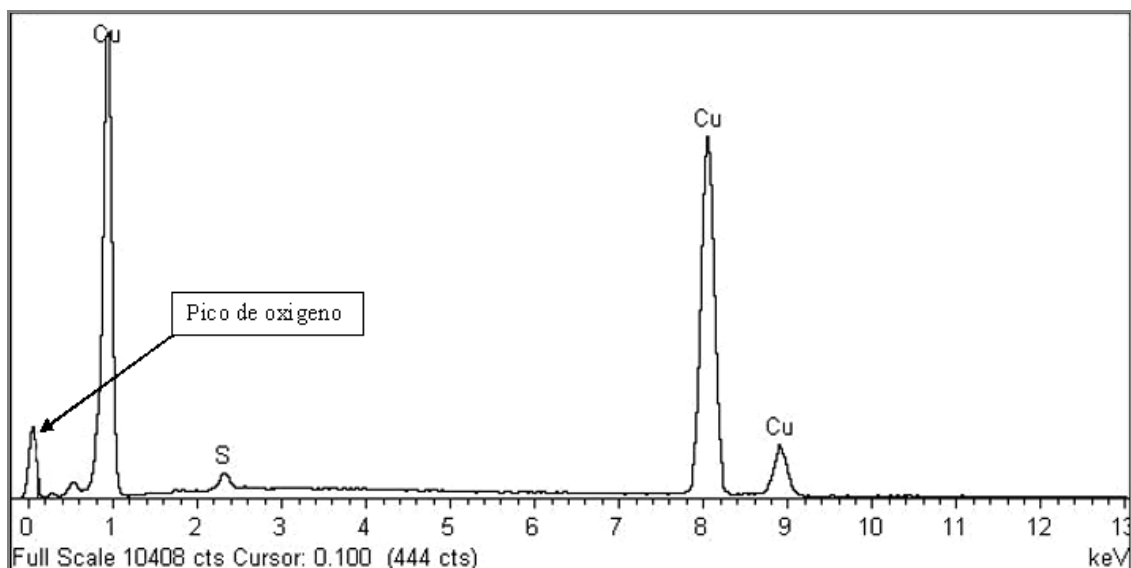


Fig. 10.9. Espectro del análisis global efectuado por SEM-EDX de la muestra F31243. Se observa un pico apreciable de oxígeno.

10.1.2 Los broncees binarios

Se han analizado treinta y tres objetos de bronce binario de distinta tipología y función. Esta selección incluye nueve fragmentos de fibulas y otros elementos de adorno personal (pendientes y brazaletes), fragmentos de apliques, una anilla, recortes de metal, restos de agujas, varillas, punzones y seis anzuelos.

La mayoría de estos objetos son broncees con contenidos de estaño relativamente bajos, entre 1,16% y 5,74% Sn; sólo seis de ellos presentan porcentajes mayores (6-8% Sn) y en un único ejemplar se ha detectado un 10% Sn. La media total de estaño en estos broncees es de 4,21% Sn, con una desviación estándar $\sigma = 2,34$ que refleja la escasa homogeneidad de su composición.

En veintidós muestras se ha detectado plomo cuyo contenido, en el 71% de los casos es inferior al 1% Pb, mientras que en los restantes está comprendido entre 1,14% y 1,94% Pb. La media de plomo presente en estos objetos es de 0,57% Pb y la desviación estándar $\sigma = 0,61$.

Por lo que concierne a otros elementos minoritarios y a los elementos traza², como para los objetos de cobre, en casi todos los casos se ha detectado algo de hierro y de plata y sólo en algunos ejemplares se aprecia la presencia de antimonio. No se han detectado zinc y arsénico y solamente una pieza muestra algo de níquel.

² Un elemento se considera minoritario cuando está entre <1% - >0,01%) y se habla de elementos traza si su contenido total es inferior al 0,01% = 100 ppm (Montero Ruiz 2000: 13).

Si se examinan estos objetos por tipología, la gran mayoría de los elementos de adorno personal analizados corresponden a broncees pobres en estaño con contenidos variables entre 1,35% y 5,65% Sn, a excepción de dos piezas que presentan respectivamente 8,72% y 10% Sn (Tabla 10.5). Por tanto, si se incluyen los quince fragmentos estudiados, la media de estaño es de 3,86% Sn con una desviación estándar de $\sigma = 2,61$.

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13210	Brazaletes* sec. circular	F25072	0,54	nd	95,50	nd	nd	nd	2,49	0,035	1,44
PA13281	Brazaletes sec. circular	F41846	0,53	nd	97,7	nd	nd	0,008	1,35	nd	0,38
PA13276	Fíbula, aguja	F15006	0,27	nd	89,7	nd	nd	0,005	10	nd	nd
PA13205	Fíbula, aguja*	F25024	0,08	nd	95,80	nd	nd	nd	3,15	0,008	0,94
PA13287	Fíbula, aguja	F25023	0,37	nd	96,80	nd	nd	0,012	1,96	nd	0,83
PA13453	Fíbula, mortaja	F41870	0,32	nd	97,1	nd	nd	0,016	2,6	nd	nd
PA13456	Fíbula, mortaja	F15015	0,56	nd	93,6	nd	nd	0,11	4,08	0,007	1,59
PA13446	Fíbula, mortaja	F25074	0,25	nd	93,7	nd	nd	0,082	5,65	0,009	0,28
PA13275	Fíbula, mortaja	F15016	0,21	nd	94,7	nd	nd	0,011	4,97	0,034	0,07
PA13445	Fíbula, resorte	F25017	0,73	nd	95,50	nd	nd	0,043	2,85	nd	0,85
PA13209	Fíbula, resorte*	F25070	1,22	nd	93,8	nd	nd	0,046	4,88	0,051	tr
PA13274	Pendiente de media luna	F41844	0,54	nd	88,7	nd	nd	0,057	8,72	nd	1,94
PA13277	Pendiente de media luna*	F41849	0,51	nd	97	nd	nd	0,017	1,44	nd	0,99
PA13294	Pendiente	F41851	0,13	nd	96,6	nd	nd	0,016	2,26	nd	0,95
PA13449	Pendiente	F55049	0,24	nd	97,8	nd	nd	0,032	1,52	nd	0,42

Tabla 10.5. Resultados ED-XRF de la composición elemental de los elementos de adorno personal de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado; tr: trazas; *: mineralizado).

En el caso del plomo los porcentajes detectados también son variables, oscilando entre 0,07% y 1,94% Pb, con una media de 0,71% Pb y una desviación estándar $\sigma = 0,61$. Hay impurezas de hierro en todas las piezas, con contenidos que varían entre 0,21% y 1,22% Fe; la media de plata detectada es de 0,03% Ag y la de antimonio – presente en seis de las muestras– es de 0,009% Sb.

Desde el punto de vista tipológico, en general estos fragmentos proporcionan pocos elementos que permitan identificar claramente sus características (Fig. 10.10).

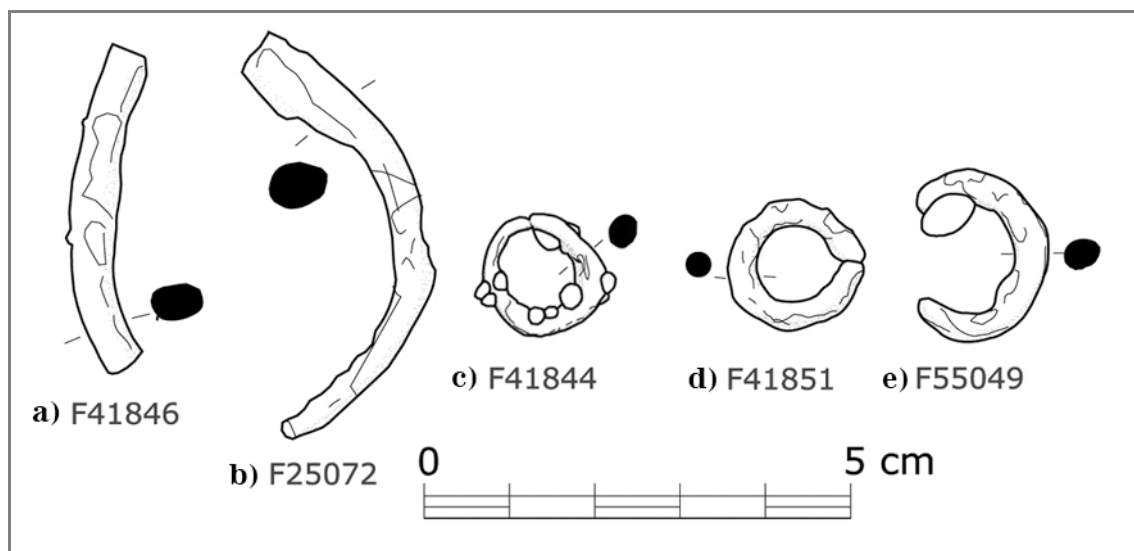


Fig. 10.10. Algunos de los elementos de adorno personal seleccionados. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

De los brazaletes analizados sólo uno (F25072; Fig. 10.10b) tiene un extremo conservado que presenta un ligero engrosamiento, indicando que corresponde a un brazalete de tipo abierto. La sección es irregularmente circular y tiene una longitud de 47 mm, aproximadamente 3,7 mm de grosor a lo largo del cuerpo y 7,1 mm en el extremo conservado (5,02 g de peso). El otro (F41846; Fig. 10.10a) tiene sección irregularmente cuadrangular de 4,5x5 mm de grosor y mide 39 mm de longitud (4,89 g de peso).

Con respecto a los pendientes, se han documentado dos tipologías distintas, un tipo de media luna y otro más simple y liso. Del primer tipo hay dos ejemplares pero sólo uno está completo (F41844; Fig. 10.10c); está cerrado y mide unos 13,5x13,2 mm, con un grosor de 3,2 mm en la base y 1,45 mm en la mitad superior (1,01 g de peso). Del otro (F41849) se conserva solamente la media luna y su tamaño y grosor son similares al anterior. Este tipo de pendiente es característico del mundo fenicio y suele fabricarse en oro y plata aunque la producción de ejemplares de bronce está igualmente bien representada. En La Fonteta, aparte de las dos piezas aquí examinadas, se han recogido otros pendientes del mismo tipo que en algunos casos presentan tamaños ligeramente mayores, habiéndose documentado piezas de entre 14-15 mm de anchura en la base (González Prats 2010: 49).

Del segundo tipo de pendiente, el más sencillo, existen dos variantes, una con el aro del mismo grosor a lo largo de su desarrollo y otra que presenta un ligero estrechamiento en la mitad superior, en particular hacia los extremos. También de este

tipo se han estudiado dos ejemplares. Uno de ellos (F41851; Fig. 10.10d) está completo y corresponde a la variante sin adelgazamiento de los extremos; mide 15,8x14,8 mm, el grosor de la sección es de aproximadamente 3 mm (0,99 g de peso) y está cerrado. El segundo ejemplar (F55049; Fig. 10.10e) está casi completo pero no permite determinar si era del tipo cerrado o semicerrado; mide 19,3x17,4 mm, la sección tiene 3,8 mm de grosor en el cuerpo y 2,4 mm en la zona de estrechamiento (1,56 g de peso). De este tipo de pendiente de desarrollo regular y cerrado se ha publicado otro ejemplar similar en González Prats (2010: 49, n. 55291), aunque sus dimensiones son ligeramente inferiores al que aquí presentamos.

Los fragmentos de fíbula estudiados (Fig. 10.11) –los más numerosos del conjunto de elementos de adorno personal– presentan composiciones diferentes y, por tanto, hay que suponer que pertenecían a ejemplares distintos. Pero, debido al estado fragmentado de las piezas, es difícil determinar con seguridad de qué tipo de fíbula se trata, ya que los elementos conservados son característicos de la mayoría de las tipologías conocidas.

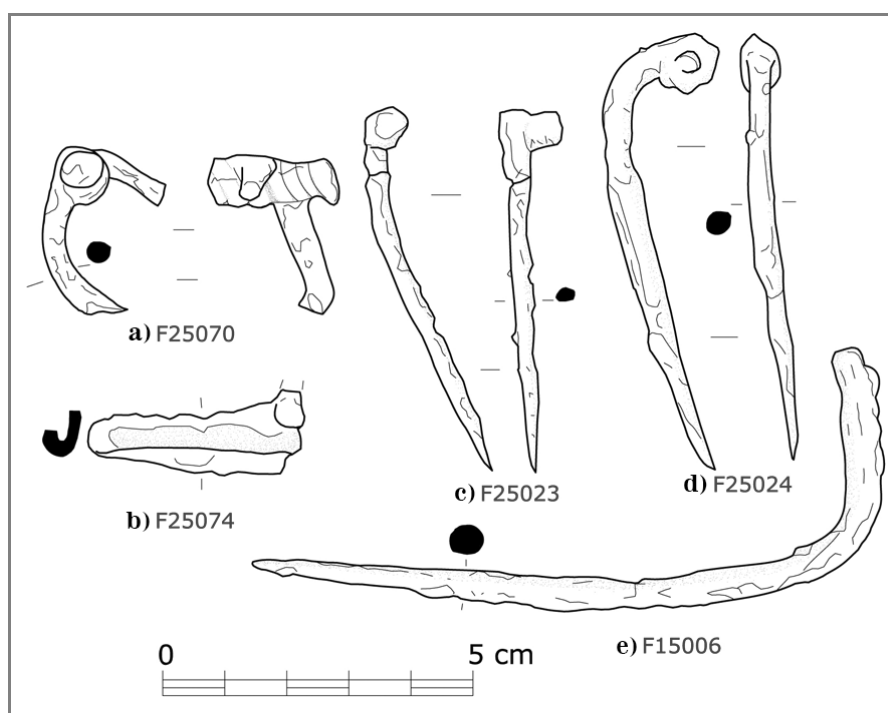


Fig. 10.11. Algunos de los fragmentos de fíbula seleccionados. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

Sin embargo, es probable que algunos de los fragmentos estudiados correspondan al tipo de doble resorte que se encuentra bien representado en los centros fenicios y

orientalizantes de la época. De hecho, recientemente A. González Prats (2010: 41-49) ha publicado un estudio en el que se describe un amplio conjunto de fibulas de distinta tipología recogidas en La Fonteta y las de doble resorte constituyen el grupo más abundante.

La pieza F25017 (Fig. 10.12a) conserva sólo dos espiras del resorte con el arranque del puente o aguja en la primera de ellas; el resorte tiene un diámetro de 6,3 mm y el “vástago” conservado, de sección circular y desarrollo recto, mide 14,46 mm con 3 mm de grosor (1,22 g de peso).

Otro fragmento de fibula (F25070; Fig. 10.11a) presenta un resorte bilateral de siete espiras que conserva parte de la aguja y parte del puente caracterizado por una marcada curvatura; estas dos partes están conectadas en la zona central del muelle. Tanto el puente como el pie tienen sección circular que en el primer caso mide 4,07 mm y en el segundo 3,44 mm (3,92 g de peso). El resorte tiene una longitud de 20,1 mm y un diámetro irregular de 6,5-7 mm; ha sido fabricado enrollando una varilla que, una vez obtenido el número de espiras deseadas, ha sido dispuesto transversalmente por encima del muelle recorriendo todo el resorte (Fig. 10.12b). En González Prats (2010: 48-49) se publican dos ejemplares similares, aunque en estos casos el puente está constituido por una cinta estrecha y no por una varilla de sección circular.

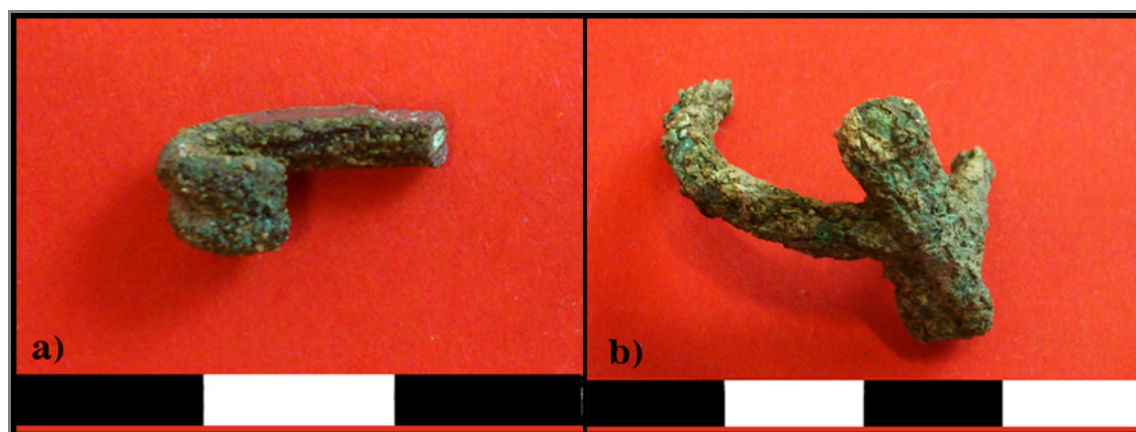


Fig. 10.12. Fragmentos de resortes de fibula procedentes de La Fonteta: a) F25017; b) F25070.

Tres de las agujas estudiadas están completas. La primera (F15006; Fig. 10.11e) destaca por su gran tamaño; mide 102 mm de longitud con una sección de unos 4,6 mm de grosor, conserva parte del arco cuyo desarrollo es recto y mide 30 mm de longitud (10,48 g de peso). El segundo ejemplar (F25023; Fig. 10.11c) es de dimensiones más

reducidas; mide 50 mm con un grosor de aproximadamente 2,9 mm; conserva tres espiras del resorte que tiene un diámetro de 5,5 mm (2,27 g de peso). La tercera aguja (F25024; Fig. 10.11d), como la anterior, arranca desde una de las espiras que formaban el resorte; tiene un desarrollo bastante recto, mide 70 mm de longitud y presenta una sección de 3,2 mm (3,22 g de peso); la espira tiene un diámetro de 8 mm.



Fig. 10.13. Mortaja de fibula F15016 (sin doblar) procedente de La Fonteta.

También merece la pena mencionar que se han documentado varios ejemplares de mortajas sin doblar, como por ejemplo el fragmento F15016 (Fig. 10.13), cuyo hallazgo podría estar sugiriendo la producción de estas piezas en el mismo yacimiento (González Prats 2010: 41); además, resulta significativo que la gran

mayoría de los fragmentos encontrados proceden de los estratos de vertidos metalúrgicos del Corte 54-1, donde las evidencias de producción de metal son abundantes.

Pasando al análisis de la anilla, de los apliques y de los recortes de láminas o planchas metálicas seleccionados, el contenido de estaño es ligeramente más elevado con respecto a los otros objetos (3,45-8,41% Sn), siendo la media de 5,74% Sn y la desviación estándar relativamente baja ($\sigma = 1,67$) (Tabla 10.6).

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13215	Anilla*	F10097	nd	nd	96,50	nd	nd	nd	3,45	0,01	nd
PA13212	Aplique laminar con 2 perforaciones*	F55029	0,19	nd	91,1	nd	nd	0,02	8,41	nd	0,24
PA13207	Aplique laminar con punta triangular y 2 perforaciones*	F15017	0,32	nd	93,7	nd	nd	0,036	5,69	nd	0,2
PA13214	Aplique laminar con remache*	F31228	0,17	nd	93,4	nd	nd	0,012	6,46	0,003	nd
PA13278	Aplique laminar curvo	F31239	0,17	nd	91,7	nd	nd	0,013	6,62	nd	1,46

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13279	Recorte plancha o barra de metal	F31231	0,31	nd	92,6	nd	nd	0,022	6,79	nd	0,25
PA13293	Recorte plancha o barra de metal	F12763	0,09	nd	96,20	nd	nd	0,006	3,72	0,036	nd
PA13448	Recorte laminar triangular	F31242	0,24	nd	94,3	nd	nd	0,073	4,79	tr	0,55

Tabla 10.6. Resultados ED-XRF de la composición elemental de los apliques, la anilla y de los recortes de metal de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado; tr: trazas; *: mineralizado).

Se ha detectado plomo sólo en cinco de las muestras y todas presentan contenidos inferiores a 0,6% Pb, menos en un caso en el que se ha detectado 1,22% Pb. La media es de 0,33% Pb, con una desviación estándar $\sigma = 0,49$ (Tabla 10.6). La presencia de los elementos minoritarios y de los elementos traza es coherente con lo que se ha observado en los otros objetos del conjunto.

Con respecto a las características morfométricas de estas piezas, la anilla (F10097; Fig. 10.14c) tiene un diámetro externo de 13,4 mm y una sección de aproximadamente 2,8 mm (0,77 g de peso).

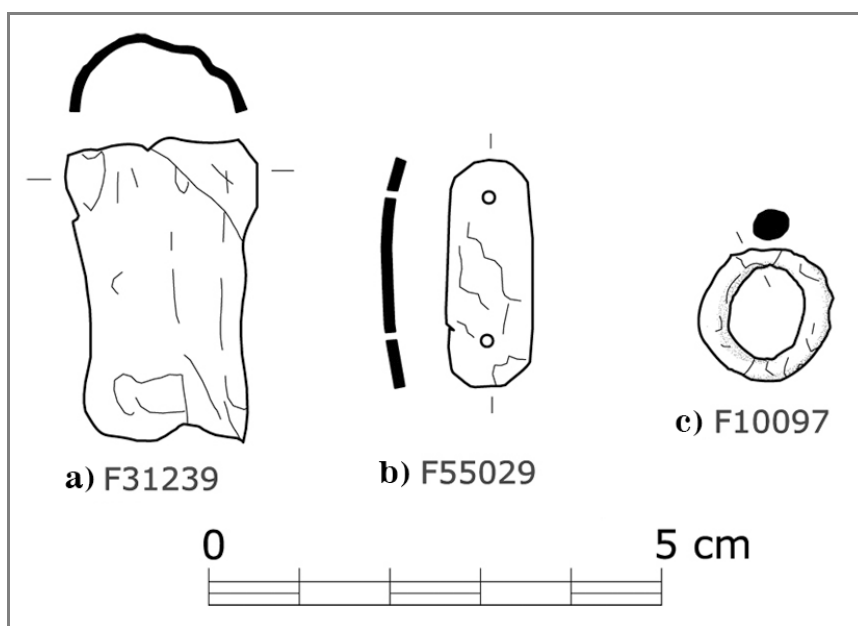


Fig. 10.14. Dos apliques y una anilla procedentes de La Fonteta: a) Aplique laminar curvo F31239; b) Aplique laminar con 2 perforaciones F55029; c) Anilla F10097. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

Dos de los apliques laminares están completos: F55029 (Fig. 10.14b) tiene una longitud de 25 mm, 9,3 mm de anchura, un grosor de 1,1 mm y perforaciones de 1 mm de diámetro (0,81 g de peso); el otro (F15017; Fig. 10.15a) es alargado con una

terminación de forma triangular tipo lengüeta, es ligeramente curvo y presenta dos perforaciones de 2,5 mm; mide 66 mm de longitud, 15 mm de anchura máxima y 1,2 mm de grosor (4,68 g de peso).

El tercer aplique (F31228; Fig. 10.15b) corresponde a un fragmento de forma rectangular, plano y con los lados paralelos; presenta un remache de bronce en una de las esquinas del extremo conservado y una perforación de 1,3 mm. La parte conservada tiene 25,2 mm de longitud, 23 mm de anchura y 1,6 mm de grosor (3,01 g de peso); el remache tiene una cabeza ovalada de unos 6,7x4,5 mm de diámetro, una longitud de 12,6 mm, con un vástago de sección rectangular que mide 2,3x3,5 mm de anchura.

El fragmento de aplique F31239 (Fig. 10.14a) tiene un grosor de 1,3 mm (34 mm de longitud, 17 mm de anchura en el extremo más curvo y 22 mm en el otro, con 5,05 g de peso); en ninguno de los casos ha sido posible determinar para qué se utilizaron exactamente estos elementos decorativos.

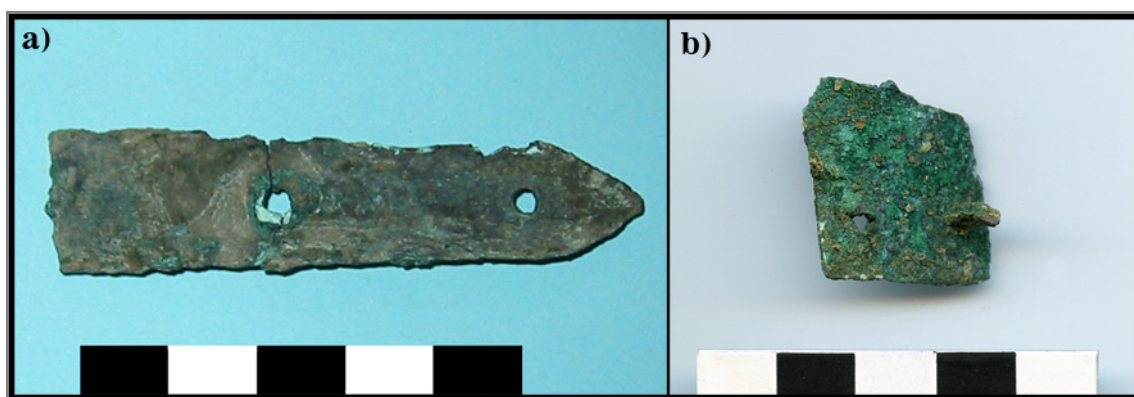


Fig. 10.15. Apliques laminares procedentes de La Fonteta: a) F15017; b) F31228.



Fig. 10.16. Recorte laminar F31242 procedente de La Fonteta.

Por último, el recorte laminar F31242 (Fig. 10.16), de 32 mm de longitud y 17 mm de anchura máxima (2,74 g de peso), presenta en una de sus caras una decoración en forma de trenza o cordón adherida a una base laminar de unos 2 mm de grosor; su interpretación es incierta.



Fig. 10.17. Barras planas de metal procedentes de La Fonteta: F31231 y F12763.

Los dos fragmentos de barras planas de metal F31231 y F12763 (Fig. 10.17) presentan respectivamente una longitud de 26 mm y 34 mm, una anchura máxima de 12 mm y de 13,5 mm con un grosor de unos 5,3 mm y 5,5 mm (10,64 g y 10,17 g de peso). En La Fonteta se han encontrado otras piezas similares y los excavadores han supuesto que este tipo de barras podrían haber tenido una función premonetal

(González Prats *et al.* 1997), se trataría pues de fragmentos de *currency bars* pero actualmente no hay evidencias que apunten a esta interpretación.

Al igual que el grupo anterior de muestras, los fragmentos de “forma alargada” – que corresponden a restos de posibles agujas, varillas o punzones (Fig. 10.18)– presentan una composición con porcentajes de estaño comprendidos entre 3,8% y 6,6% Sn, con una media del 5% Sn y una desviación estándar $\sigma = 1,3$ (Tabla 10.7).

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA12828	Aguja*	F41842	0,62	nd	92,7	nd	nd	0,02	6,67	nd	nd
PA13454	Aguja	F25045	0,45	nd	95,4	nd	nd	0,004	4,15	nd	nd
PA12827	Punzón*	F41841	0,98	nd	95,20	nd	nd	0,02	3,81	0,02	nd
PA13291	Varilla, sec. circular	F55033	0,31	nd	93,8	nd	nd	0,024	5,44	nd	0,41

Tabla 10.7. Resultados ED-XRF de la composición elemental de algunos fragmentos metálicos “alargados” de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado; *: mineralizado).

Sólo uno de los cuatro fragmentos analizados presenta el plomo como elemento minoritario (0,41% Pb) y otro presenta impurezas de antimonio (0,02% Sb), mientras que en todas las muestras se han detectado hierro (0,3-0,9% Fe) y plata (0,004-0,02% Ag).

Las primeras dos piezas, a pesar de que no haya sido posible comprobar la eventual presencia de un ojal, han sido denominadas agujas por su escaso grosor y podrían corresponder a agujas de fíbulas. La F41842 (Fig. 10.18a) tiene una longitud de 48 mm con un grosor de 3,8 mm en la zona superior y 2,7 mm hacia el extremo puntiagudo, mientras la otra (F25045; Fig. 10.19a) mide 42 mm de longitud con una sección de 2,6 mm en la zona superior y 1,9 mm en la zona de la punta. En ambos casos no se aprecia la presencia de un ojal.

El punzón (F41841; Fig. 10.19b) tiene 33 mm de longitud y una sección circular de unos 2,8 mm; está incompleto por los dos lados y, aunque se observa claramente el estrechamiento del extremo en punta, falta la parte terminal (0,87 g de peso). La otra pieza (F55033; Fig. 10.18b) ha sido clasificada genéricamente como varilla ya que no disponemos del extremo inferior para poder determinar si también en este caso se trata

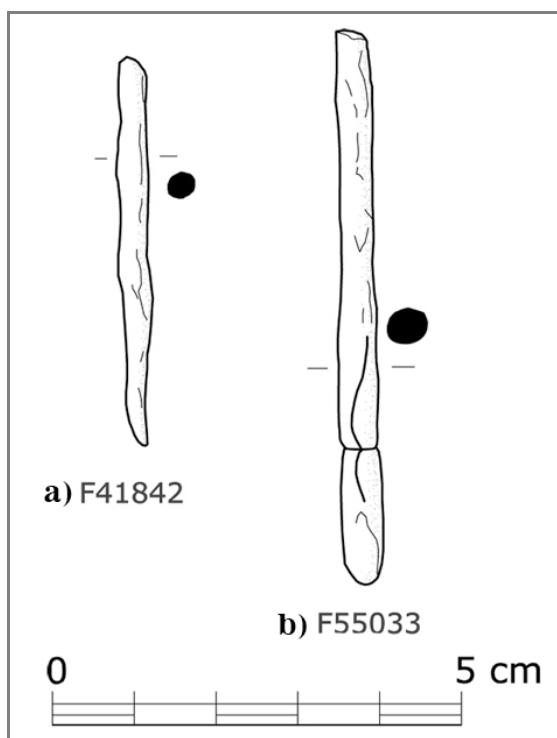


Fig. 10.18. Dos de los elementos “de forma alargada” de La Fonteta. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

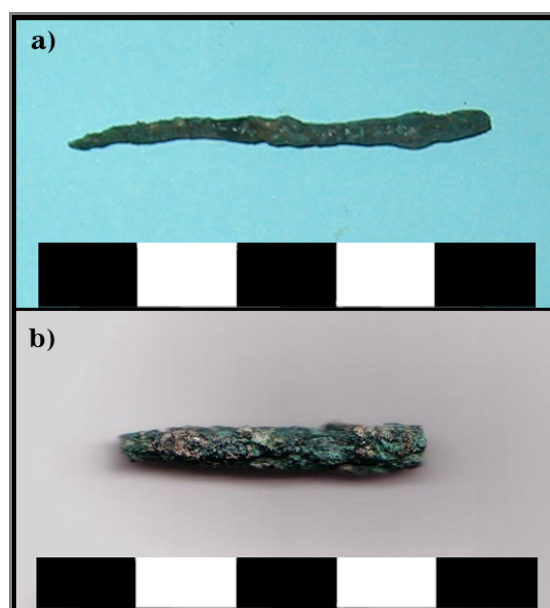


Fig. 10.19. a) Aguja F25045 y b) punzón F41841 procedentes de La Fonteta.

de un punzón. Tiene desarrollo recto, sección circular de 5 mm y 67 mm de longitud (6,17 g de peso).

Con respecto a los seis anzuelos estudiados (Fig. 10.20), de acuerdo con la tendencia general observada en la composición del resto de los objetos, también estas

piezas corresponden a bronce pobres en estaño, con porcentajes especialmente bajos que varían entre 1,16% y 3,33% Sn, ya que sólo un ejemplar presenta un contenido mayor, de 5,74% Sn (Tabla 10.8).

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13304	Anzuelo*	F41836	0,6	nd	96,70	nd	nd	0,044	1,16	0,008	1,52
PA13305	Anzuelo*	F41837	0,63	nd	96,80	nd	nd	0,059	1,35	nd	1,14
PA13306	Anzuelo*	F31232	0,5	nd	92,9	nd	nd	0,057	5,74	0,158	0,64
PA13307	Anzuelo*	F55030	0,51	nd	97,4	nd	nd	0,04	2,0	nd	nd
PA13308	Anzuelo*	F41838	0,85	nd	93,90	nd	nd	0,077	3,33	nd	1,79
PA12829	Anzuelo*	F41840	0,68	0,54	97,10	nd	nd	0,01	1,67	0,02	nd

Tabla 10.8. Resultados ED-XRF de la composición elemental de los anzuelos de bronce de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado; *: mineralizado).



Fig. 10.20. Selección de algunos de los anzuelos analizados de La Fonteta.

Si se toman en consideración las seis piezas analizadas, la media de estaño es de 2,54% Sn con una desviación estándar $\sigma = 1,74$. Asimismo, en gran parte de los anzuelos se ha detectado un contenido apreciable de plomo, con porcentajes que oscilan entre 0,65% y 1,79% Pb, una media de 1,27% Pb y una desviación estándar $\sigma = 0,49$.

Por lo que concierne a los elementos minoritarios e impurezas detectadas, todos presentan algo de hierro (0,5% y 0,8% Fe) y de plata (0,01-0,07% Ag), mientras que sólo tres ejemplares presentan antimonio (0,008-0,15% Sb) y en una única pieza se ha detectado níquel (0,54% Ni).

El mal estado de conservación de los anzuelos estudiados no permite determinar si alguno está completo. Sus medidas y grosores son variables; los tamaños conservados varían entre 18 y 26 mm, mientras que los grosores van de los 2 mm del anzuelo más

fino a los 3,6 mm del más grueso, siendo 2,5-2,6 los valores más comunes. Sólo uno de ellos (F41837; el del medio en la Fig. 10.20) parece presentar un pequeño arponcillo en el extremo, pero en ninguno se observa la presencia de un ojal para pasar el sedal aunque sí se aprecia un estrechamiento en el extremo superior que podría servir para facilitar el anudamiento del hilo (González Prats 2010: 35). Las medidas del anzuelo fabricado en cobre (F31233), que es el mejor conservado de los ocho analizados (con un grosor de 2,5 mm y 30 mm de longitud), son similares a las de gran parte de los ejemplares de bronce binario, mientras que el anzuelo de bronce plomado (F41850), como veremos más adelante, es más grueso, con una sección de 3,5 mm.

De todos modos, las piezas aquí presentadas son solamente una pequeña parte del numeroso conjunto de anzuelos encontrados en La Fonteta, como es de esperar en un yacimiento costero en el que la pesca y las salazones tuvieron que constituir un factor económico importante, según nos indican, por ejemplo, los hallazgos de pesas de red fabricadas en plomo, los abundantes restos de ictiofauna encontrados en toda la zona excavada y algunas vasijas cerámicas que conservaban escamas de pescado en su interior. Recientemente González Prats (2010) ha publicado las características morfométricas de unos sesenta anzuelos, la gran mayoría de los cuales (más del 70% del total) ha sido recogida en los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1. Sus medidas varían entre los 20 y los 39 mm de longitud de los ejemplares más completos, mientras que los grosores están alrededor de 2-4,5 mm (González Prats 2010: 35).

Entre los ejemplares publicados merece la pena mencionar una pieza semiacabada (F42286) que corresponde a una única varilla con los dos extremos doblados en curva para formar las aberturas de los anzuelos, es decir, se trata de dos piezas todavía en proceso de fabricación que deberían haber sido partidas en dos para ser utilizadas. Este “anzuelo doble” presenta una longitud de 59 mm con un grosor de 2,5 mm, del que habrían resultado dos anzuelos de aproximadamente unos 29 mm de longitud, y nos está indicando que esas pequeñas herramientas para la pesca se fabricaban *in situ* utilizando una varilla que se doblaría en los extremos con una tenaza o algo similar y que luego se partiría por la mitad (González Prats 2010: 35). También hay que destacar la presencia de un anzuelo de hierro (F13025) cuyo tamaño parece ser similar o ligeramente mayor que los de bronce documentados hasta ahora; mide 30 mm con una sección de unos 5 mm y está incompleto (González Prats 2010: 35-39).

A nivel tipológico, estos anzuelos presentan características similares a otros que se han documentado en varios yacimientos fenicios contemporáneos, como por ejemplo

los de sa Caleta (Ramón Torres 2007: 119), los de Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga) (Mansel 2000, fig. 5) o los de Toscanos (Vélez, Málaga) (Schubart y Maass-Lindemann 1984, fig. 23), entre otros. En general estas piezas suelen presentar tamaños variables y, en algunos casos, todavía se puede apreciar el arpón o parte de este, como en el ejemplar F41837 de La Fonteta.

10.1.3 Los bronce ternarios y las aleaciones cobre-plomo

Se han analizado por ED-XRF doce objetos de bronce ternario que incluyen algunos elementos de adorno personal, elementos metálicos fragmentados de distinto tipo (barritas, recortes y apliques), un fragmento de lingote-hacha y un anzuelo (Tabla 10.9).

Como para los bronce binarios, la mayoría de estos objetos presentan cantidades relativamente bajas de estaño, normalmente comprendidas entre 1,3% y 5,5% Sn; sólo dos fragmentos presentan alrededor de un 7% Sn, otros dos alcanzan el 10% Sn y en una única muestra ha sido detectado un 12% Sn. La media de estaño presente en estos bronce es de 5,9% Sn, con una desviación estándar $\sigma = 3,6$, un valor bastante elevado debido a la apreciable diferencia en la composición de las distintas piezas estudiadas.

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13288	Anzuelo	F41850	0,5	nd	94,6	nd	nd	0,032	2,17	nd	2,84
PA13452	Aplique laminar con remache de hierro	F31240	nd	nd	90,6	nd	nd	0,084	4,12	nd	5,23
PA13447	Aplique trenzado	F11172	0,14	nd	40,6	nd	nd	0,076	2,14	nd	57
PA13213	Barrita sec. cuadrada	F31227	0,38	nd	85	nd	nd	0,144	12,1	0,14	2,24
PA13450	Barrita sec. cuadrada	F55048	0,76	nd	83,1	nd	nd	0,161	5,12	0,006	10,8
PA13208	Brazalete sec. circular	F25065	0,45	nd	62,9	nd	nd	0,058	7,81	0,026	28,7
PA13282	Brazalete sec. circular	F41847	0,39	nd	80,8	nd	nd	0,039	7,96	0,03	10,8
PA13451	Garfio con decoración	F41871	0,82	nd	76,8	nd	nd	0,115	9,91	0,022	12,4
PA13289	Lingote-hacha	F55031	0,18	nd	33,3	nd	nd	0,004	1,32	nd	65,2
PA13280	Pendiente cerrado (arete)	F41843	0,37	nd	53,7	nd	nd	0,056	10,4	nd	35,4
PA13455	Recorte circular de lámina	F41869	0,29	nd	49,9	nd	nd	0,096	2,36	0,238	47,1
PA13290	Remate sec. triangular	F55032	0,36	nd	50,7	nd	nd	0,041	5,56	0,022	43,3

Tabla 10.9. Resultados ED-XRF de la composición elemental de los objetos de bronce ternario seleccionados de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

Los porcentajes de plomo detectados en las muestras, al igual que el estaño, varían sensiblemente de un objeto a otro, oscilando entre contenidos bajos (2,2-5,2% Pb), valores del orden del 10-12% Pb y otros muy elevados, de entre 28-47% Pb. Se han analizado también dos objetos que presentan una cantidad extraordinariamente alta de plomo, en un caso de 57% Pb y en otro de 65% Pb. Por tanto, si incluimos todos los fragmentos estudiados, el promedio total de plomo es de 26,7% Pb y, como era de esperar, la desviación estándar de la media resulta ser muy grande ($\sigma = 22,3$), confirmando la variabilidad de la composición de los bronce de La Fonteta.

Con respecto a la presencia de los elementos minoritarios y de las impurezas, la situación de los bronce ternarios es similar a la de los binarios. Prácticamente en todos los casos se han detectado hierro (0,1-0,8% Fe) y plata (0,004-0,1% Ag), y en siete de los doce objetos estudiados hay presencia de antimonio (0,006-0,2% Sb).

Pasando a la clasificación de estas muestras por tipología o grupo, se han estudiado cuatro fragmentos de elementos metálicos de adorno personal (Fig. 10.21): dos brazaletes, un pendiente y un posible garfio de broche de cinturón decorado con incisiones que reproducen motivos geométricos.

Estos objetos corresponden a las piezas con los porcentajes más elevados de estaño (con la única excepción del fragmento de barra metálica F31227 que presenta un 12% Sn), y están comprendidos entre 7,8% y 10,4% Sn, con una media de 9,2% Sn y una desviación estándar $\sigma = 1,3$. Los porcentajes de plomo también son bastante elevados, variando entre un 10,8% Pb del ejemplar menos plomado al 35,4% Pb detectado en el pendiente F41843 (Tabla 10.10). La media de plomo es de 21,8% Pb con una desviación estándar alta ($\sigma = 12,1$).

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13282	Brazalete sec. circular	F41847	0,39	nd	80,8	nd	nd	0,039	7,96	0,03	10,8
PA13208	Brazalete sec. circular	F25065	0,45	nd	62,9	nd	nd	0,058	7,81	0,026	28,7
PA13451	Garfio con decoración	F41871	0,82	nd	76,8	nd	nd	0,115	9,91	0,022	12,4
PA13280	Pendiente (arete)	F41843	0,37	nd	53,7	nd	nd	0,056	10,4	nd	35,4

Tabla 10.10. Resultados ED-XRF de la composición elemental de los elementos de adorno personal de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

Como en el caso de los adornos fabricados en bronce binario, desde el punto de vista morfológico estas piezas no proporcionan mucha información. Los dos fragmentos de brazalete no tienen una tipología reconocible y son simples fragmentos de varillas curvas. F41847 (Fig. 10.21b) corresponde a media sección de un brazalete con 52,5 mm de diámetro externo y una sección de unos 3 mm (5,05 g de peso), mientras que el fragmento F25065 (Fig. 10.21a) tiene una abertura de 55,5 mm y un grosor de sección de unos 5 mm (10,25 g de peso).

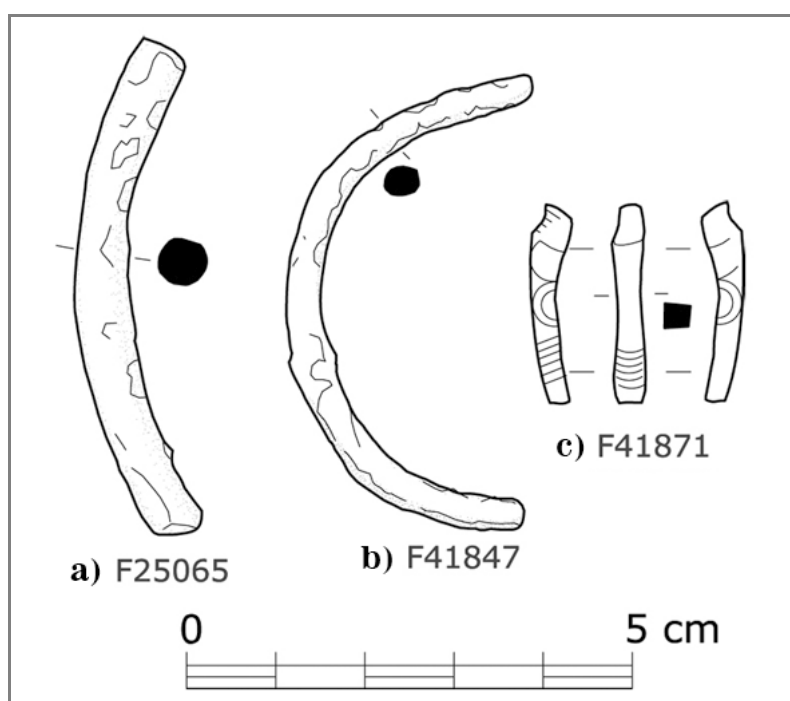


Fig. 10.21. Algunos de los elementos analizados de adorno personal en bronce ternario de La Fonteta: a) F25065; b) F41847; c) F41871. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

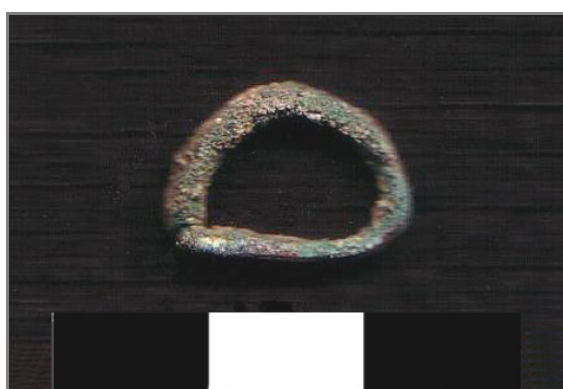


Fig. 10.22. Pendiente F41843 procedente de La Fonteta.

El garfio de broche de cinturón F41871 (Fig. 10.21c) corresponde a un vástago ligeramente curvo de sección cuadrada con un extremo redondeado (en forma de media luna) y un engrosamiento en el otro extremo; tiene 21,6 mm de longitud y unos 2,9x2,6 mm de grosor (1,13 g de peso); en la cara superior presenta una decoración geométrica formada por varios elementos circulares que se extienden a los dos lados cortos. El pendiente F41843 (Fig. 10.22) corresponde a una tipología distinta a las que

se han mencionado antes, tiene forma de semicírculo, mide 15,4 mm de anchura y 11,8 mm de altura (1,11 g de peso), y está elaborado con una cinta de 1,5 mm de grosor en la base y 2,3 mm en el arco superior.

Los otros elementos metálicos de bronce ternario estudiados (Fig. 10.23) por su estado fragmentario han sido incluidos en un único grupo, ya que no se ha podido determinar a qué tipología corresponden. Se trata de un fragmento de aplique laminar con remache de hierro, un aplique trenzado, dos barritas de metal de sección cuadrada (punzones?), un remate de sección triangular y un recorte de lámina con un lado circular.

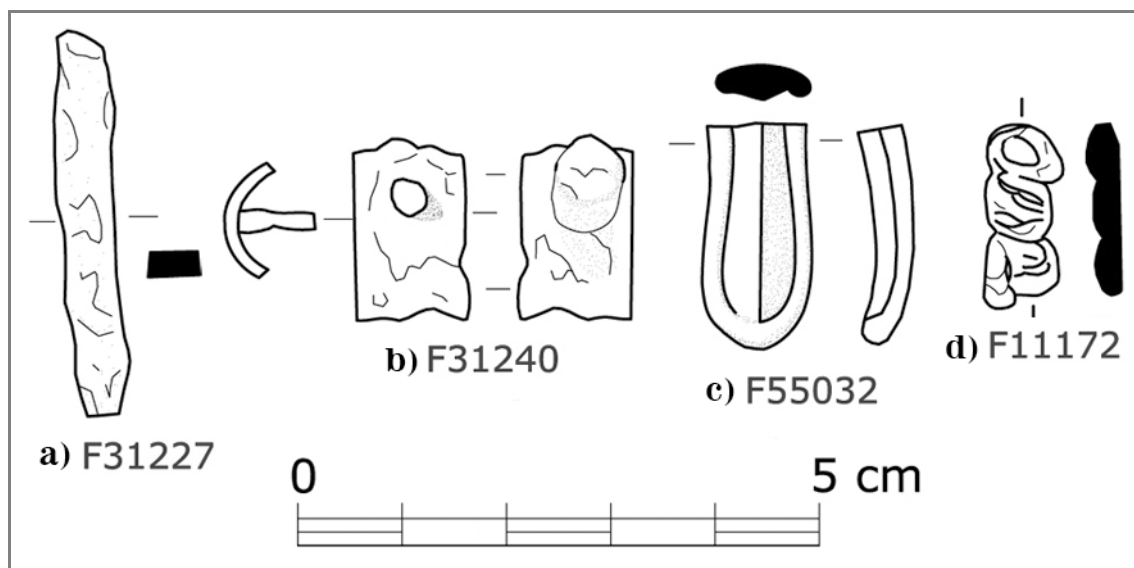


Fig. 10.23. Algunos de los elementos metálicos en bronce ternario analizados de La Fonteta. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

Estas muestras corresponden a broncees pobres en estaño, con porcentajes que varían entre 12,1% y 5,5% Sn, menos en el caso del ya mencionado fragmento de barrita F31227 que presenta un 12,1% Sn. Por tanto, excluyendo esta pieza tendríamos un promedio de estaño de 3,8% Sn, con una desviación estándar $\sigma = 1,5$, mientras que si se incluyera en el cálculo total también este fragmento, la media subiría a 5,2% Sn y la desviación estándar a $\sigma = 3,6$ (Tabla 10.11). De nuevo, se trata de broncees con contenidos muy variados de los distintos metales aleantes.

Al igual que el estaño, el contenido de plomo es distinto en todas las piezas, estando comprendido en tres casos entre 2,2% y 10,8% Pb, y variando en los otros tres

casos entre 43,3% y 57% Pb. La media sería pues de 27,6% Pb, con una desviación estándar muy elevada ($\sigma = 24,1$).

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13452	Apliche laminar con remache de hierro	F31240	nd	nd	90,6	nd	nd	0,084	4,12	nd	5,23
PA13447	Apliche trenzado	F11172	0,14	nd	40,6	nd	nd	0,076	2,14	nd	57
PA13213	Barrita sec. cuadrada	F31227	0,38	nd	85	nd	nd	0,144	12,1	0,14	2,24
PA13450	Barrita sec. cuadrada	F55048	0,76	nd	83,1	nd	nd	0,161	5,12	0,006	10,8
PA13455	Recorte circular de lámina	F41869	0,29	nd	49,9	nd	nd	0,096	2,36	0,238	47,1
PA13290	Remate sec. triangular	F55032	0,36	nd	50,7	nd	nd	0,041	5,56	0,022	43,3

Tabla 10.11. Resultados ED-XRF de la composición de distintos tipos de elementos metálicos fragmentados de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

Con respecto a la morfometría de estas piezas, el apliche laminar F31240 (Fig. 10.23b) tiene una superficie curva y presenta un remache de hierro próximo a uno de los lados cortos. Mide 15 mm de longitud, 12 mm de anchura y 1,2 mm de grosor (1,12 g de peso); el remache tiene la cabeza redonda de 8 mm de diámetro, una longitud de 8,8 mm, con un vástago de sección rectangular que mide 2,7x3,3 mm.



Fig. 10.24. a) Recorte laminar F41869 y b) barrita F55048 procedentes de La Fonteta.

El apliche trenzado (F11172; Fig. 10.23d) y el remate de sección triangular (F55032; Fig. 10.23c) son elementos de pequeño tamaño de los cuales no se ha podido determinar la forma y la función originales. Igualmente, del otro fragmento, el recorte laminar F41869 (Fig. 10.24a), sólo se puede afirmar que perteneció a un elemento con un lado circular cuyo diámetro original rondaba los 30 mm; mide 25 mm de longitud máxima, 18,3 mm de anchura y un

grosor de 1,4 mm (2,47 g de peso). Por último, las dos barras (F31227 y F55048; Fig. 10.23a y Fig. 10.24b) tienen sección cuadrangular y miden respectivamente 37,4 mm y 35,2 mm con grosores de 3,36x4,62 mm y 3,33x 3,6 mm (4,1 g y 2,58 g de peso);

De las restantes dos muestras que han sido incluidas en el grupo de los bronce plomados (Tabla 10.12), el anzuelo F41850 presenta un contenido bastante exiguo tanto de estaño (2,1% Sn) como de plomo (2,8% Pb), no alejándose mucho de la composición de los otros ejemplares que se han clasificado como bronce binarios. Mide 25,7 mm de longitud y tiene un grosor máximo de 3,5 mm (1,01 g de peso).

Finalmente, el fragmento de lingote-hacha –del cual se hablará detenidamente más adelante–, presenta un contenido bajo en estaño (1,3% Sn) pero el porcentaje de plomo detectado es elevadísimo, de hasta 65% Pb.

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA13288	Anzuelo	F41850	0,5	nd	94,6	nd	nd	0,032	2,17	nd	2,84
PA13289	Lingote-hacha	F55031	0,18	nd	33,3	nd	nd	0,004	1,32	nd	65,2

Tabla 10.12. Resultados ED-XRF de la composición de un anzuelo y un fragmento de lingote-hacha de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

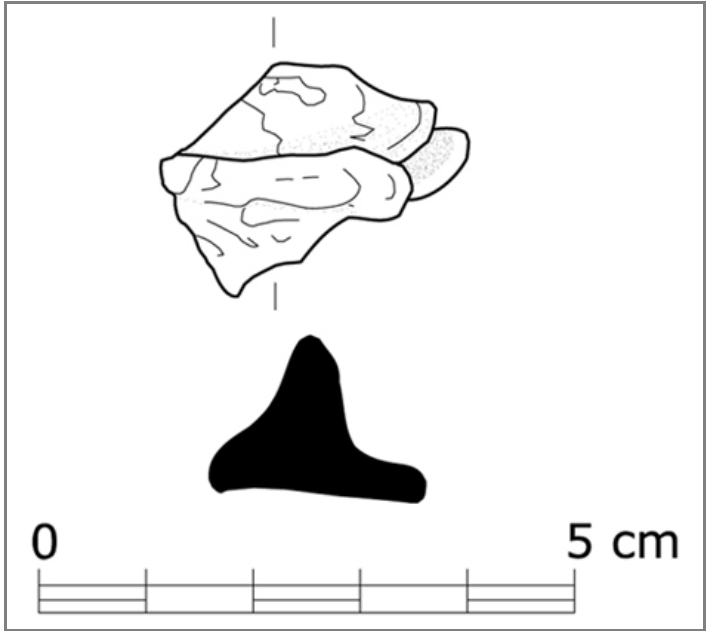


Fig. 10.25. Elemento indeterminado de cobre-plomo (F11063) procedente de La Fonteta. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

Éste por ejemplo es el caso de un elemento metálico indeterminado, F11063, compuesto exclusivamente por cobre y plomo, sin ninguna impureza detectable (Tabla 10.13); tiene dos lados curvos, una base irregularmente plana y una sección de tendencia triangular con bordes redondeados (Fig. 10.25); mide unos 29 mm de longitud y 20 mm de

anchura (13 g de peso). No ha sido posible determinar cual fue su función originaria.

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
PA12328	Elemento metálico indet.	F11063	nd	nd	57,52	nd	nd	nd	nd	nd	42,48

Tabla 10.13. Resultados ED-XRF de la composición elemental del fragmento metálico indeterminado F11063 de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

F11063 ha sido analizado también por SEM-EDX; en las micrografías (Fig. 10.26) se aprecia una matriz de color claro constituida principalmente por plomo, con abundantes segregados de cobre (gris oscuro en la Fig. 10.26), en los que se han detectado impurezas de bismuto (Tabla 10.14).

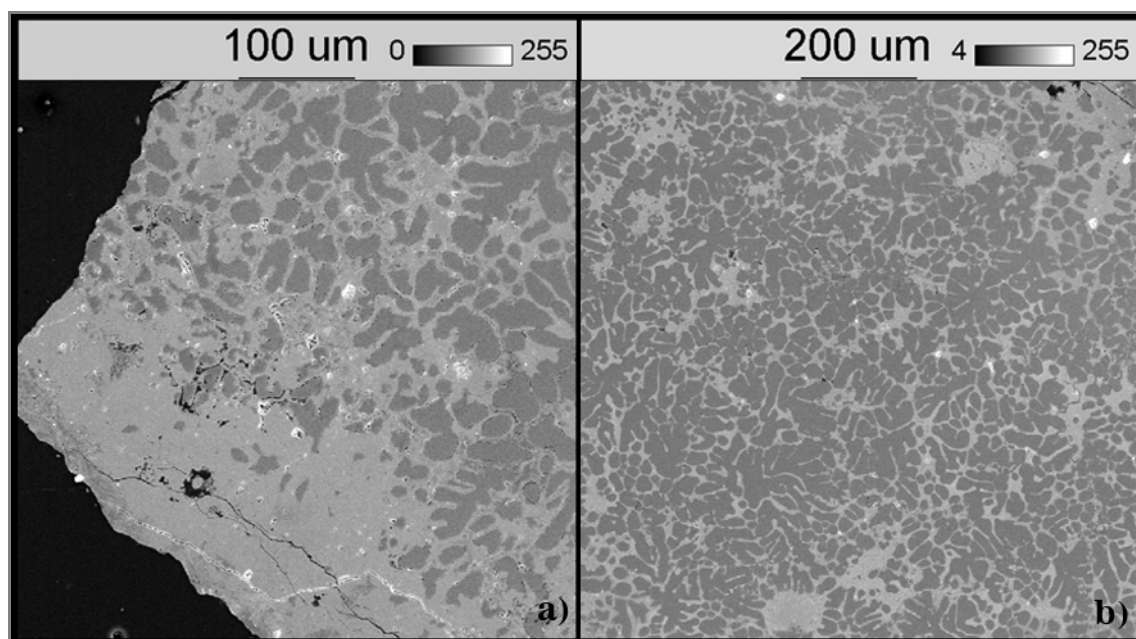


Fig. 10.26. a) Microestructura de la muestra F11063 en la que se aprecian los segregados de cobre en una matriz de plomo; b) detalle de la microestructura. Imágenes SEM, electrones retrodispersados.

N. Análisis	Fase	Cl	Cu	Pb	Bi
F11063/1	Matriz clara	19,29	9,62	71,09	nd
F11063/2	Segregados grises	nd	97,71	1,36	0,93
F11063/3	Análisis global a 100x	3,33	66,45	29,68	0,54

Tabla 10.14 Resultados SEM-EDX del análisis del elemento metálico indeterminado F11063 procedente de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

Asimismo, con el fin de determinar la posible procedencia del metal utilizado para fabricar este objeto, se ha llevado a cabo un estudio de su composición isotópica del plomo pero, como en el caso del fragmento de lingote F1408, de este tema se hablará en el siguiente capítulo.

10.1.4 Discusión y estudio comparativo

De los cincuenta objetos de La Fonteta analizados por ED-XRF, el 8% corresponde a cobres sin alear, el 66% a bronce binarios, el 24% a bronce ternarios y sólo el 2% a aleaciones cobre-plomo (Fig. 10.27).

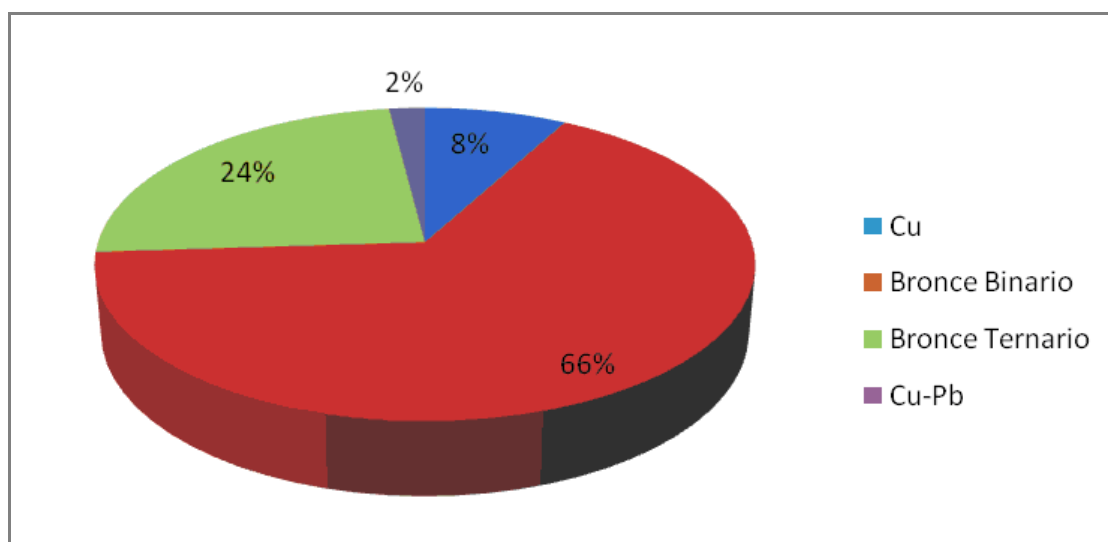


Fig. 10.27. Representación gráfica de los porcentajes de los objetos metálicos analizados en función de su composición (cobre y sus distintas aleaciones).

La mayoría de ellos (treinta y seis objetos) pertenecen a la fase arcaica del yacimiento (fases I-III), mientras que los restantes catorce objetos se fechan dentro de La Fonteta Reciente (fases IV-IX).

Al periodo arcaico del yacimiento (FA) pertenecen tres objetos de cobre, una aleación cobre-plomo, veinticinco bronce binarios y siete bronce ternarios. Los cobres sin alear presentan una composición bastante homogénea entre ellos, con impurezas de estaño ($<0,5\%$ Sn) y un contenido apreciable de plomo (1% Pb de media). Por el contrario, los objetos de bronce binario presentan composiciones muy irregulares, sobre todo en las cantidades de estaño. En general la media es bastante baja (3,7% Sn) y la desviación estándar muy elevada ($\sigma = 2,21$). Las tasas de plomo en estas aleaciones son del 0,5% Pb en media, con una desviación estándar $\sigma = 0,6$.

Para los bronce ternarios se registran de nuevo composiciones poco homogéneas con contenidos muy variables de los distintos metales, tanto en los contenidos de plomo como en los de estaño, con una media de estaño de 5,7% Sn ($\sigma = 3,68$) y de plomo de 25,19% Pb ($\sigma = 21,1$).

De La Fonteta Reciente (FR) se han documentado un elemento de cobre sin alear, ocho broncees binarios y cinco broncees ternarios. Dentro de estos broncees no se ha observado ninguna tendencia predominante con respecto a los porcentajes de estaño detectados. Como para FA, se trata generalmente de broncees pobres con composiciones muy distintas entre ellas. La media de estaño en los broncees binarios es de 5,7% Sn ($\sigma = 2,12$) y en los ternarios es de 6,1% Sn ($\sigma = 4,03$), coherentemente con el periodo anterior.

Para las tasas de plomo en los broncees ternarios la situación no es distinta; las composiciones difieren mucho de una pieza a otra y la media de plomo es de 28,6% Pb con una desviación estándar de $\sigma = 26,3$ que refleja claramente esta variabilidad. Por el contrario, el contenido de plomo detectado en los broncees binarios es más homogéneo, siendo su media de 0,5% Pb y su desviación estándar $\sigma = 0,6$.

En el único fragmento de cobre adscrito a esta fase, se ha detectado un 1,3% Pb, un porcentaje similar al que ha sido detectado en los tres objetos de cobre pertenecientes a FA.

Como se puede apreciar en el gráfico (Fig. 10.28), si comparamos la composición de los broncees de los dos grandes periodos cronológicos de La Fonteta (FA y FR), durante la fase reciente en los broncees binarios se registra un aumento de los porcentajes de estaño (de casi el 2% Sn) con respecto al periodo precedente, mientras que las tasas de plomo se mantienen constantes.

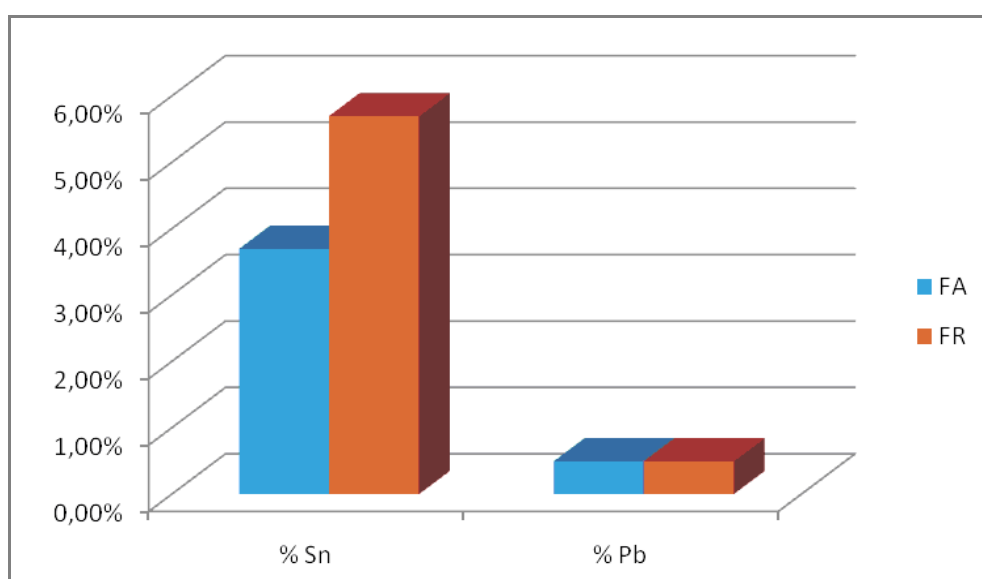


Fig. 10.28. Gráfico en el que se muestran las medias de los porcentajes de estaño y de plomo detectados en los broncees binarios durante los dos grandes periodos de habitación de La Fonteta (FA y FR).

También en los bronce ternarios se aprecian pequeñas diferencias entre la media de estaño y la de plomo en los dos distintos periodos de ocupación del yacimiento (Fig. 10.29).

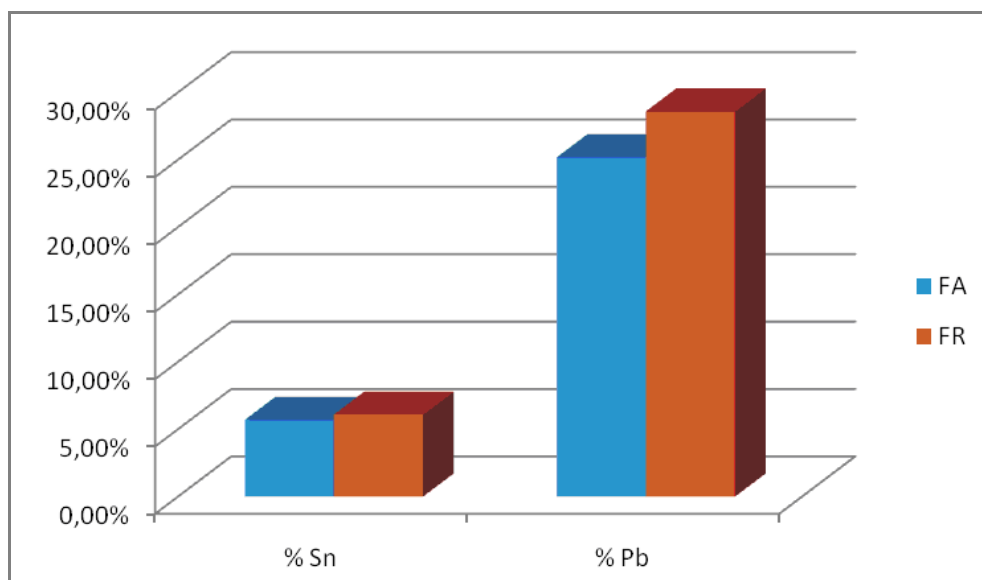


Fig. 10.29. Gráfico en el que se muestran las medias de los porcentajes de estaño y de plomo detectados en los bronce ternarios durante los dos grandes periodos de habitación de La Fonteta (FA y FR).

Asimismo, en estos dos gráficos (Figs. 10.28 y 10.29) se observa que para ambos periodos (FA y FR) el contenido de estaño en los bronce ternarios es ligeramente mayor con respecto al de los bronce binarios. Sin embargo, si consideramos que el número de muestras analizadas es poco representativo –se trata de treinta y seis objetos de la fase arcaica de La Fonteta y de sólo catorce piezas pertenecientes a la fase reciente– y que se ha observado una marcada irregularidad en los contenidos de los distintos aleantes, la diferencia en las tasas de estaño detectadas durante las fases FA y FR no parece significativa para caracterizar la metalistería del bronce de época fenicia. No obstante, la media total de estaño de estos bronce es coherente con la tendencia general observada para la I Edad del Hierro en otras zonas peninsulares, y nos confirma que la producción de bronce pobres tuvo que ser una práctica común en los contextos fenicios y orientalizantes. De hecho, se observa un notable descenso en los porcentajes de estaño entre el Bronce Final y la Edad del Hierro, con una media en el Hierro I de aproximadamente 5,5% Sn (Montero Ruiz 2008: 500-502).

Igualmente, merece la pena mencionar que tampoco los objetos de La Fonteta pertenecientes a una misma tipología presentan composiciones similares, encontrándose

a menudo fabricados con distintos tipos de aleaciones. La única excepción podría estar constituida por las fibulas, ya que todos los fragmentos analizados corresponden a bronce binarios y la gran mayoría son bronce pobres en estaño (2-5,6% Sn), pero sus características composicionales son distintas, sobre todo por lo que concierne a los contenidos de estaño y de plomo que varían sensiblemente de una pieza a otra. Por el contrario, los otros elementos decorativos de uso personal (el anillo, los pendientes, los brazaletes y el garfio) corresponden tanto a bronce binarios como ternarios y, de acuerdo con la tendencia ya observada en los gráficos anteriores (Figs. 10.28 y 10.29), las piezas que presentan las tasas más altas de estaño (aprox. 8-10% Sn) corresponden todas, menos en un caso, a bronce ternarios. Asimismo, pasando a los anzuelos, de los ocho ejemplares estudiados seis son de bronce binario, uno es de cobre sin alear y otro corresponde a un bronce ternario con poco plomo (<3% Pb). Todos los ejemplares fabricados en bronce presentan contenidos especialmente bajos de estaño (1,1-2,1% Sn), ya que sólo en dos casos se ha detectado un 3,3% y un 5,7% Sn. El plomo está presente en seis de los fragmentos estudiados –incluyendo el ejemplar de cobre– con contenidos comprendidos entre 0,6% y 2,8% Pb. Y con respecto a los otros pequeños utensilios analizados (punzones, varillas y agujas), como en el caso de las fibulas, todos ellos corresponden a bronce binarios caracterizados por cantidades de estaño ligeramente más elevadas (3,8-6,6% Sn) con respecto a los anzuelos y por una casi total ausencia de plomo, pero las composiciones tampoco en este caso son homogéneas.

Resumiendo, en las muestras de La Fonteta no se ha observado ninguna tendencia claramente predominante en la composición de los metales de base cobre, y no parece que haya una elección consciente de una determinada aleación en función de la tipología o del uso de los objetos fabricados. Por tanto, a pesar de que se haya observado un uso mayoritario de bronce binario para la producción de las fibulas y de los pequeños utensilios de uso cotidiano –incluyendo los anzuelos– no existe una composición estándar para ninguno de estos grupos de elementos metálicos.

Como ya han sugerido algunos autores (Montero Ruiz 2008), este tipo de composición de bronce con contenidos de estaño tan variables y prácticamente sin impurezas importantes (en la gran mayoría de los casos no se ha detectado la presencia de metales volátiles, como arsénico, antimonio y zinc), sería el resultado del reciclaje de metal amortizado. De hecho, durante los distintos procesos térmicos a los que puede ser sometido un metal los eventuales metales volátiles presentes se pierden en los humos;

además, cuando se refunden objetos de distinta composición, no hay control de la composición del metal resultante, lo que podría explicar la diferencia significativa detectada en los porcentajes de los distintos aleantes en los bronce estudiados.

De todos modos, al tratarse sólo de una pequeña selección efectuada dentro de un conjunto de objetos metálicos muy amplio y variado, es posible también que los resultados obtenidos estén ofreciendo solamente un cuadro parcial de la situación real de la metalistería del yacimiento aunque, como ya se ha mencionado anteriormente, la situación observada parece ser coherente con la composición de los bronce fenicios contemporáneos actualmente documentados. Tampoco la distinción entre los bronce de los dos grandes periodos cronológicos de La Fonteta proporciona datos especialmente significativos para caracterizar la producción metalúrgica allí llevada a cabo. Pero, a este propósito merece la pena destacar que, a pesar de la abundancia de hallazgos de elementos metálicos realizados en la Península Ibérica, los estudios especializados sobre elementos metálicos de época fenicia son especialmente escasos.

Recientemente ha sido publicado un trabajo en el que se presentan los hallazgos más significativos del conjunto de objetos metálicos de La Fonteta (González Prats 2010) –en particular las fíbulas, los anzuelos y los pendientes–, pero no se ha efectuado un estudio analítico de la composición de estos materiales, no hay por tanto nuevos elementos que permitan confirmar o revisar la tendencia a la producción de bronce pobres con composiciones variables de estaño y plomo que se ha observado en las piezas aquí estudiadas.

El conjunto más representativo de análisis de objetos metálicos fenicios es el que publicó A. Giumlia-Mair (1992). Estos análisis fueron realizados en el *British Museum* de Londres con espectrometría de plasma acoplado por inducción (ICP) y absorción atómica (AAS). En dicho trabajo la autora presenta la composición de cien pequeños objetos de base cobre procedentes del yacimiento fenicio del Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga), comparándolos con datos de un grupo de objetos contemporáneos y de tipología similar procedentes de la ciudad asiria de Nimrud (Iraq) y de distintas zonas del Mediterráneo. Asimismo, en Valério *et al.* (2012) se presenta el estudio de la composición de unos elementos metálicos recogidos en el yacimiento fenicio de Quinta do Almaraz (Cacilhas, Almada) en Portugal. Este conjunto corresponde a veintitrés pequeños objetos de tipología similar a los de La Fonteta y del Morro de Mezquitilla,

principalmente elementos de adorno personal, pequeñas herramientas de uso cotidiano y anzuelos.

Con respecto al estudio de Giumlia-Mair (1992), tanto en el caso del Morro de Mezquitilla como en el de Nimrud se ha documentado una metalurgia del bronce con contenidos de estaño similares a los que se han detectado en la producción metalúrgica de otras zonas mediterráneas; además, en ambos yacimientos se ha registrado la presencia de bronce ternarios pero las tasas de plomo han resultado ser mayores en los objetos procedentes de Nimrud que en los del Morro de Mezquitilla.

Casi el 50% de los objetos analizados del yacimiento malagueño corresponden a varillas o agujas; la gran mayoría de ellos presentan cantidades bajas de estaño y plomo, y hay varios de cobre sin alear. De hecho, es bastante común por lo menos hasta época romana encontrar pequeños utensilios cotidianos fabricados en cobre, probablemente debido a su mejor resistencia a la oxidación comparado con el hierro y a su menor coste de producción respecto al bronce (Giumlia-Mair 1992: 111); sin embargo, los pocos ejemplares de este tipo seleccionados de La Fonteta corresponden principalmente a bronce binarios.

La composición de los elementos de adorno personal procedentes tanto del Morro como de Nimrud, en particular las fíbulas, parece responder a un mayor control de los porcentajes de los distintos metales que forman la aleación. Los contenidos de estaño varían entre 2,9% y 9% Sn, con una media de 6,2% Sn, y sólo dos de los ejemplares del Morro corresponden a bronce ternarios. Esta situación es distinta a la que se ha documentado en La Fonteta donde se ha visto que dentro del grupo de bronce binarios la composición de las distintas fíbulas es irregular y presenta una media de estaño de aproximadamente 4,5% Sn (Fig. 10.30).

Por lo que concierne a la composición de los elementos metálicos laminares, las piezas analizadas del Morro corresponden a cobres sin alear y a bronce binarios sin impurezas significativas de plomo; según la autora, la ausencia de este elemento es deliberada ya que la presencia de plomo favorecería la exfoliación o el agrietamiento de la lámina metálica durante el martilleo de la misma (Giumlia-Mair 1992: 112). Pero, de nuevo, la situación en La Fonteta es distinta ya que, aunque la mayoría son bronce binarios bastante puros, dos ejemplares (se trata de apliques curvos) presentan contenidos apreciables de plomo, de 1,4% Pb en un caso y 5,2% Pb en el otro.

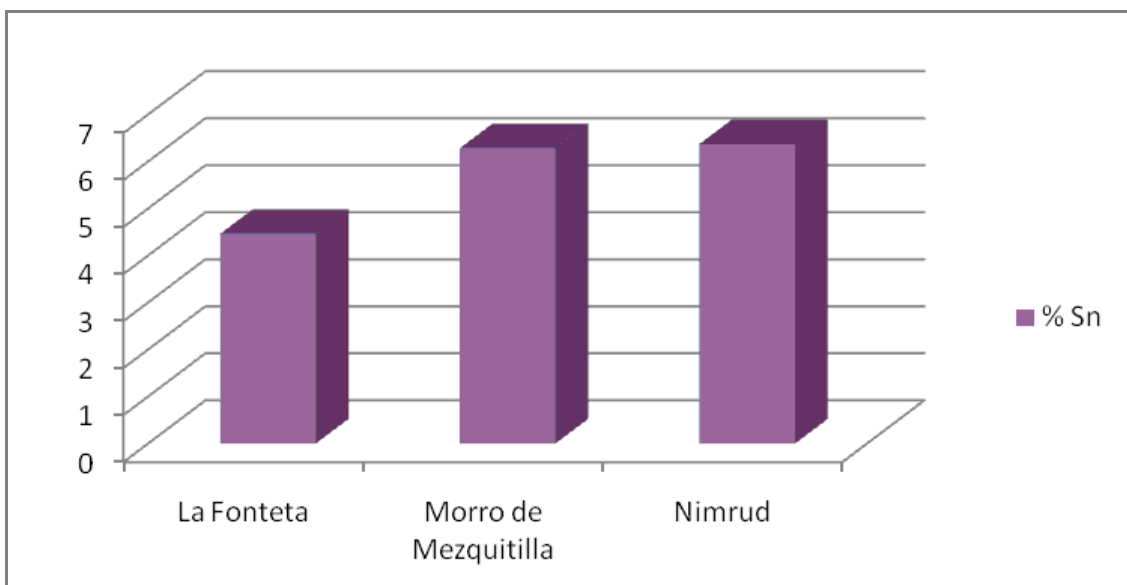


Fig. 10.30. Gráfico en el que se muestran los distintos contenidos de estaño en las fibulas de La Fonteta, Morro de Mezquitilla y Nimrud.

También merece una mención la observación de Mansel (2000: 1603) de las diferencias existentes entre la producción metalúrgica del Morro de Mezquitilla durante los horizontes más antiguos (B1 y B2) y el más reciente B3/4. A pesar de que en ambos periodos sigue documentándose elementos fabricados en cobre sin alear, en la fase más reciente se observa un aumento del número de piezas de bronce ternario y con contenidos de plomo más elevados. En La Fonteta, aunque el muestreo sea reducido, parece poderse apreciar una situación similar, ya que con respecto al número total de muestras analizadas para cada periodo, el porcentaje de bronce ternarios de FA es del 19,4% mientras el de FR es casi el doble, un 35,7%.

Pasando al análisis de los elementos traza detectados en los distintos grupos de objetos, se aprecian algunas diferencias entre el conjunto de elementos metálicos del Morro, Nimrud y los objetos de La Fonteta. Aunque en los tres grupos hay impurezas de hierro, plata y antimonio, sólo en las piezas de Nimrud y del Morro se ha detectado la presencia de arsénico, níquel y, en algunos casos, de zinc. Como ya se ha mencionado más arriba, en el caso de La Fonteta la ausencia de estos elementos podría depender del uso de metal obtenido de la refundición de objetos amortizados, lo que implicaría una limitación en el control final de la composición del caldo metálico resultante. La posibilidad de que se esté utilizado un metal obtenido por refundición de chatarra, una práctica bastante común en todas las épocas, se propone también para algunos de los objetos analizados por A. Giumlia-Mair (1992: 113), sobre todo en el caso de los

elementos metálicos indeterminados. De todos modos, en línea general el análisis de los materiales del Morro de Mezquitilla y de Nimrud sugiere que existen diferencias en las técnicas de afino del metal y en las aleaciones utilizadas para los utensilios de uso cotidiano y los objetos de adorno personal. El metal empleado para la producción de las pequeñas piezas domésticas es menos refinado, presenta mayores impurezas e implica un menor control de la calidad del metal; además, estos objetos suelen presentar contenidos bajos de estaño y plomo, y se han documentado varios ejemplares fabricados en cobre sin alear. Por el contrario, la composición de las fibulas y de los otros elementos decorativos ha resultado ser más cuidada, manteniendo cierto control de la calidad de las aleaciones empleadas (Giulia-Mair 1992: 114).

En La Fonteta la situación parece ser distinta ya que, aunque pueda haber cierta preferencia hacia un tipo de aleación u otro para determinadas tipologías de objetos, se está utilizando metal reciclado prácticamente para toda la producción de piezas de bronce. El estudio de los materiales de la Quinta do Almaraz (Valério *et al.* 2012) también apunta a una práctica generalizada de reciclaje de metales. De hecho, de las veintitrés piezas estudiadas, diecinueve son de bronce (sólo dos corresponden a bronce ternarios con contenidos de plomo de 4,6% y 6% Pb y los otros cuatro son cobres sin alear) y presentan contenidos de estaño que solamente en dos casos alcanzan el 8% Sn, con una media de 4,5% Sn y una desviación estándar $\sigma = 2,4$; los contenidos de plomo en los bronce binarios son siempre inferiores a 0,7% Pb, menos en un caso que alcanzan el 1,1% Pb. También en estos materiales, como en los de La Fonteta, las tasas de los aleantes pueden variar sensiblemente de una pieza a otra y, aparte del hierro que ha sido detectado en todas las piezas analizadas (0,15-1,3% Fe), solamente dos muestras presentan arsénico (0,1% en un caso y 0,66% As en el otro). Igualmente, no parece que se estuviera eligiendo el tipo de metal o aleación a emplear en función de las tipologías de objetos que se querían fabricar, aunque los autores sugieren que esta falta de relación entre el uso de cobre o bronce y la funcionalidad de los objetos podría ser debido al muestreo todavía reducido (Valério *et al.* 2012: 78).

También en otros yacimientos peninsulares de la época (Montero Ruiz 2008: 503) se ha documentado una producción metalúrgica de este tipo que, además, no se aleja de lo que se observa por ejemplo en la Grecia arcaica donde también se estaban empleando bronce pobres. La escasez de recursos para el aprovisionamiento de estaño o su elevado coste podría haber obligado a la producción de aleaciones con contenidos de

estaño inferiores con respecto a otras zonas y al reciclaje sistemático del metal (Rovira Llorens 1993: 50-51). A este propósito es significativo destacar que, tanto en La Fonteta como en la Quinta do Almaraz la presencia poco abundante de bronce ternarios parece excluir la opción de que se estuviera utilizando el plomo en sustitución del estaño por la escasez o el elevado precio de este último.

La situación en otros yacimientos contemporáneos del sur de España no ha resultado ser muy diferente. Por ejemplo, los análisis de quince fragmentos metálicos recogidos en la “casa del fundidor” en Peña Negra (Crevillente) documentan la ausencia de verdaderos bronce plomados (0-1,6% Pb) y, de nuevo, las tasas de estaño son muy irregulares con tendencia a los bronce pobres (Ruiz-Gálvez 1990: 328; Rovira Llorens 1995: 477). También los resultados de los análisis de algunos objetos procedentes de Tejada la Vieja (Huelva) (Craddock 1981: 280; Rovira *et al.* 1987: 224-225) confirman esta tendencia general a valores dispersos de los contenidos de plomo y a los bronce pobres (Rovira Llorens 1995: 481), aunque tanto en Tejada como en algunos objetos procedentes de las excavaciones del casco antiguo de Huelva y de La Joya (Fernández Jurado 1988-1989b: 200), se han documentado también bronce con tasas elevadas de estaño.

En conclusión, como ya han indicado otros autores (Rovira Llorens 1993: 47-48; Montero Ruiz 2008: 502), para esta fase cronológica no se puede hablar genéricamente de una bronceística peninsular, ya que se observan marcadas diferencias en la composición de las aleaciones a nivel regional y en los distintos contextos culturales. En particular, aunque en casi todo el territorio se observa un general empobrecimiento del contenido de estaño en la transición del Bronce Final a la I Edad del Hierro, el Levante y Andalucía –y probablemente también la zona de influencia fenicia y orientalizante de Portugal– parecen alejarse más de la tendencia general que se ha documentado en otras regiones. Con la llegada de los fenicios, quizás por un incremento de la demanda de metal, se registra un mayor empobrecimiento del contenido de estaño con una presencia generalizada de bronce pobres que suelen presentar contenidos de estaño inferiores al 6% Sn.

Por lo que concierne al plomo, de nuevo tanto en los bronce levantinos como en los andaluces, las tasas de este metal son bastante reducidas, de aproximadamente 2-5% Pb. Pero, aunque en estos contextos predominan claramente las aleaciones binarias, se han documentado bronce con contenidos sorprendentemente altos de plomo, de más

del 40% Pb y que además, en el caso de varias piezas de La Fonteta, suelen presentar también tasas más elevadas de estaño, oscilando entre 5% y 10,5% Sn.

10.1.5 Los lingotes-hacha

En La Fonteta se ha identificado un elemento metálico, con número de inventario F55031, que se ha interpretado como un posible fragmento de un lingote-hacha. Se trata de un recorte de plancha de tendencia rectangular; se conserva una parte en la que se aprecian tres lados rectos formando un ángulo, y que podría corresponder a la zona del filo del hacha (Fig. 10.31). Esta pieza mide 30,9 mm de longitud y 35,4 mm de anchura, con un grosor irregular de 2-2,4 mm (11,5 g de peso).

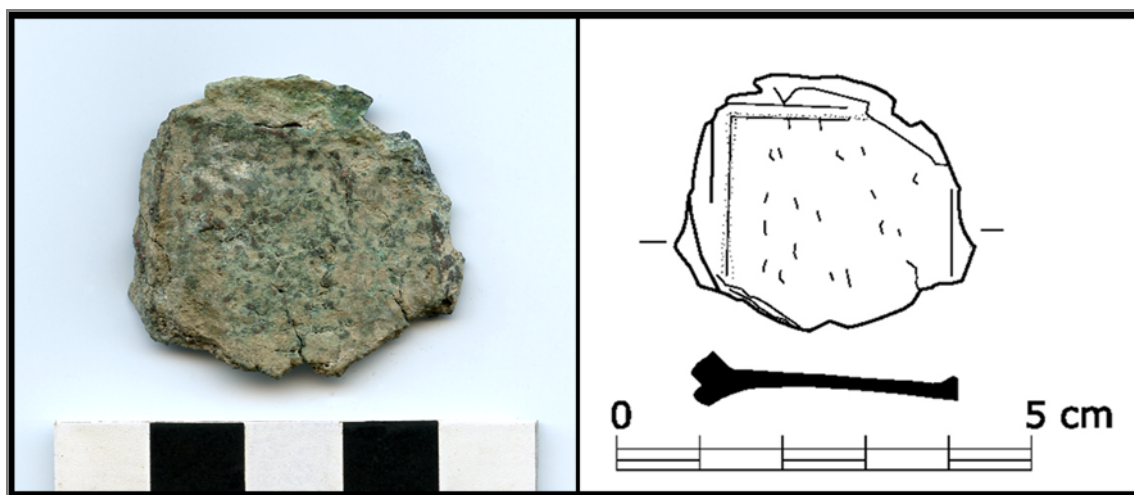


Fig. 10.31. Fragmento de lingote-hacha (F55031) procedente de La Fonteta. Dibujo de Esteban Moreno Guerrero.

Como ya se ha mencionado en el capítulo de los moldes (Cap. 9), piezas de este tipo han sido documentadas en varios yacimientos del Levante español fechados en el segundo cuarto del I milenio a.C. (siglos VIII-VI a.C.); en concreto, es un fenómeno que actualmente parece concentrarse únicamente en la provincia de Alicante y en las islas Baleares (Fig. 10.32).

La mayoría de los ejemplares completos de lingotes-hacha fueron recogidos en el depósito de La Alcudia (Elche, Alicante) (Fig. 10.33), del que se menciona proceden una cincuentena de piezas aunque actualmente sólo se conservan diecisiete (Monteagudo 1977: 145).

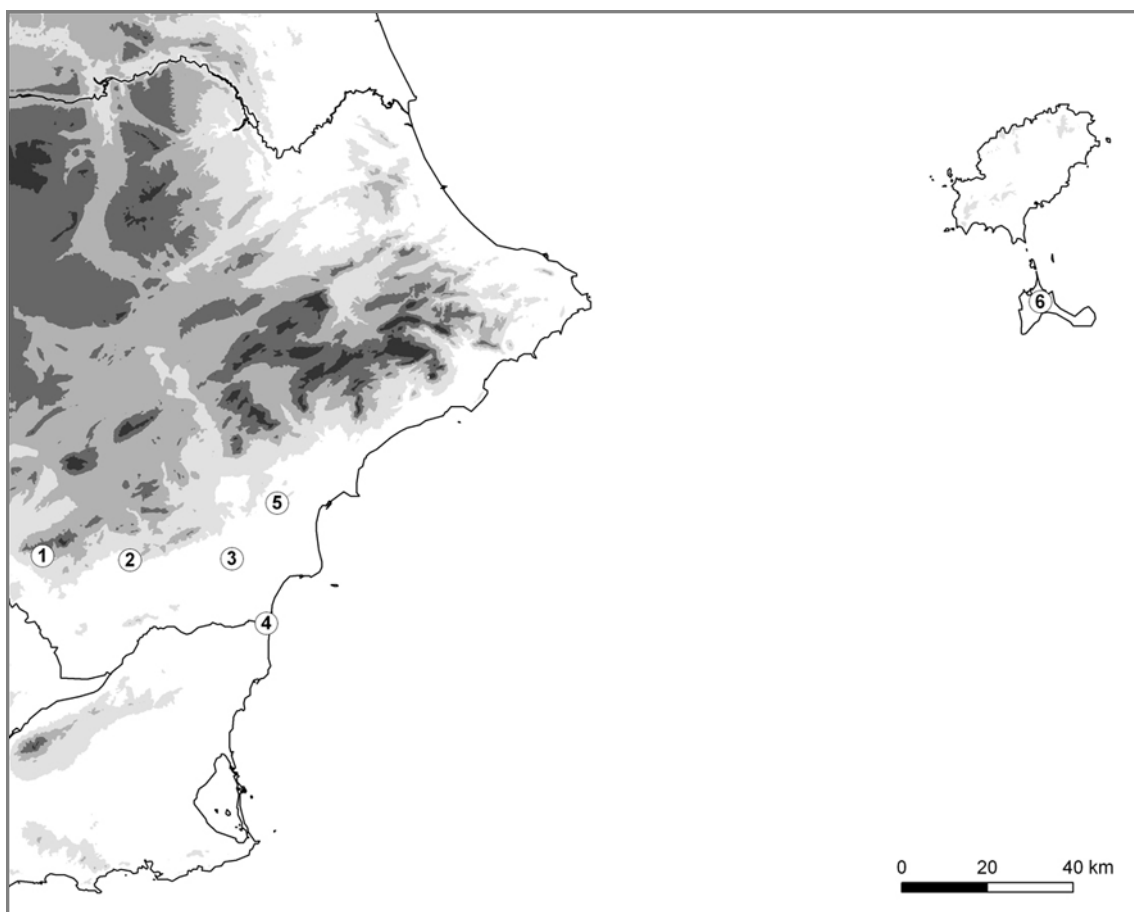


Fig. 10.32. Distribución de los hallazgos de lingotes-hacha en el Levante Peninsular. 1) Peña Negra; 2) Fonteta del Sarso; 3) La Alcudia; 4) La Fonteta; 5) El Tabaiá; 6) C'an Mariano Gallet (Formentera). Mapa realizado por Antonio Uriarte González.

Se trata de unas finas placas rectangulares de metal con el cono de fundición marcado en un extremo, y algunos ejemplares están provistos en uno o en los dos filos laterales de pequeñas protuberancias o “apéndices” (Siret 1913; Almagro Basch 1967; Ramos Fernández 1974). Su longitud puede alcanzar los 170 mm, y tienen alrededor de 40 mm de anchura y 3-4 mm de espesor. Al tratarse de unas piezas caracterizadas por el escaso grosor de su sección, y que por tanto difícilmente habrían podido emplearse como hachas, ya Siret –que fue el primero en realizar análisis elementales de algunos de estos objetos conservados en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid (Siret 1913: 363-365)– puso en duda su función y las denominó genéricamente “barras de cobre”. Además, la ausencia en algunos casos de una o de ambas protuberancias laterales le hizo considerar estas piezas como simples simulacros de las hachas planas de apéndices laterales. Sugirió también que podría tratarse de un tipo de hacha con valor religioso, votivo o simbólico, de acuerdo con la interpretación de las hachas de talón documentadas en la zona oeste de la Península Ibérica y que generalmente estaban

fabricadas en bronce plomado. En el Levante peninsular, debido a la falta de estaño, este modelo de hacha votiva habría sido fabricado con barras de cobre que, siendo difíciles de fundir, habrían reproducido groseramente la forma de las hachas de talón con su característico cono de fundición. Finalmente, el mismo autor menciona que varios estudiosos consideraban los lingotes y las barras metálicas que reproducían la forma de objetos de uso diario, sobre todo hachas, como un tipo primitivo de moneda. De hecho, la palabra griega *πελεκυς*, “hacha, hacha de doble hoja”, servía para indicar un peso o un valor de 10 minas (Siret 1913: 364).

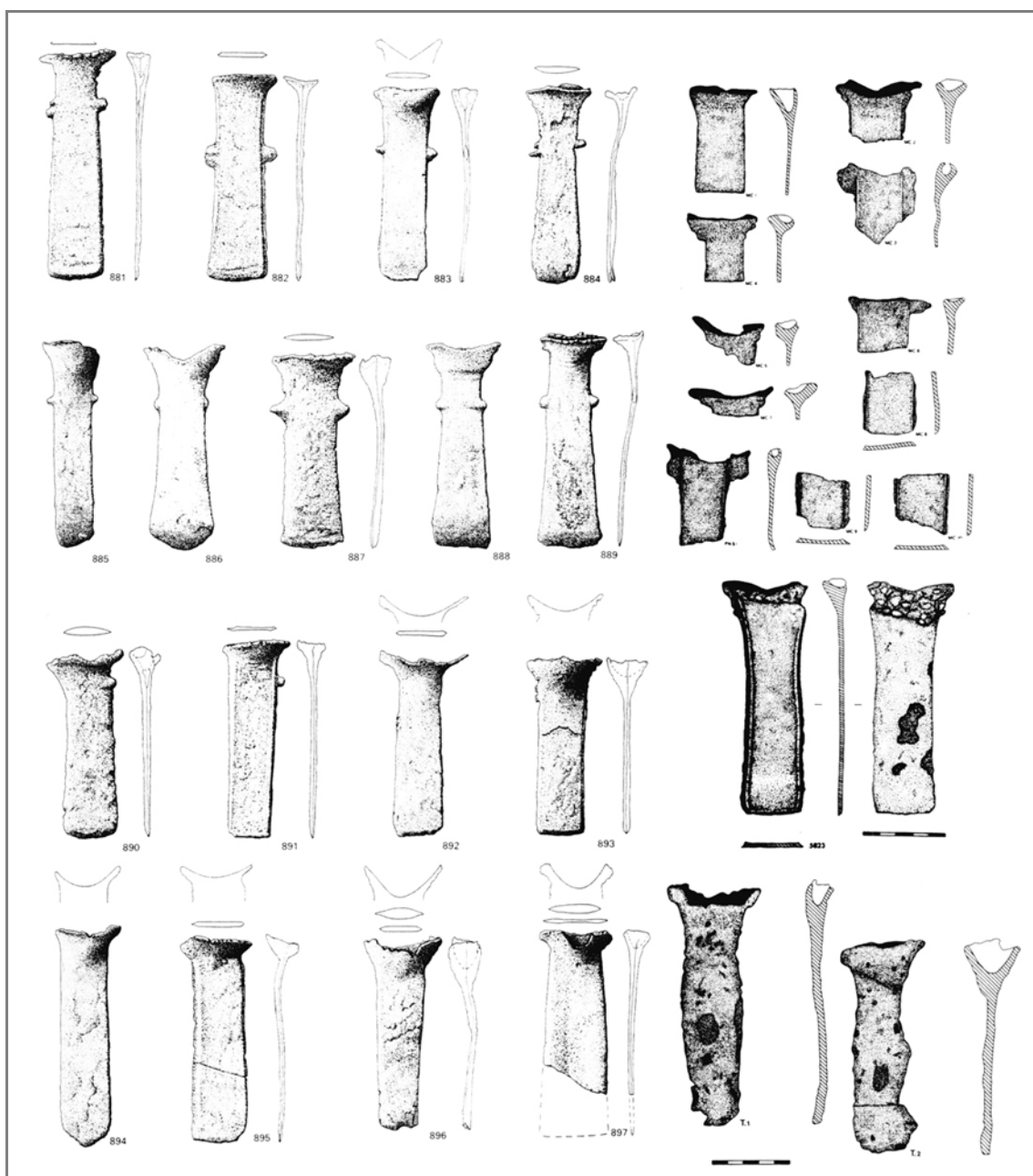


Fig. 10.33. Lingotes-hacha de La Alcudia (nn. 881-897, a la izquierda), Peña Negra (MC y PN; lado derecho, en alto y al centro) y El Tabaiá (T1 y T2; abajo a la izquierda), según Simón (1998).

Fue A. Ramos Fernández (1974) quien retomó la hipótesis de que podría tratarse de algún tipo de patrón monetario definiendo estos objetos como “hachas-monedas”, pero su interpretación no encontró aceptación en el ambiente académico. Se siguió pues considerándolas un tipo anómalo de hacha plana, y así se encuentran clasificadas en varios trabajos de referencia, como por ejemplo en el estudio específico de hachas de la Península Ibérica de Monteagudo (1977), que las incluye en el Tipo 22 de su clasificación –con dos variantes (22A1 y 22A2) que corresponden respectivamente a la presencia de sólo una protuberancia lateral y a su total ausencia–, y en el estudio sobre Bronce Final atlántico en la Península Ibérica realizado por Coffyn (1985).

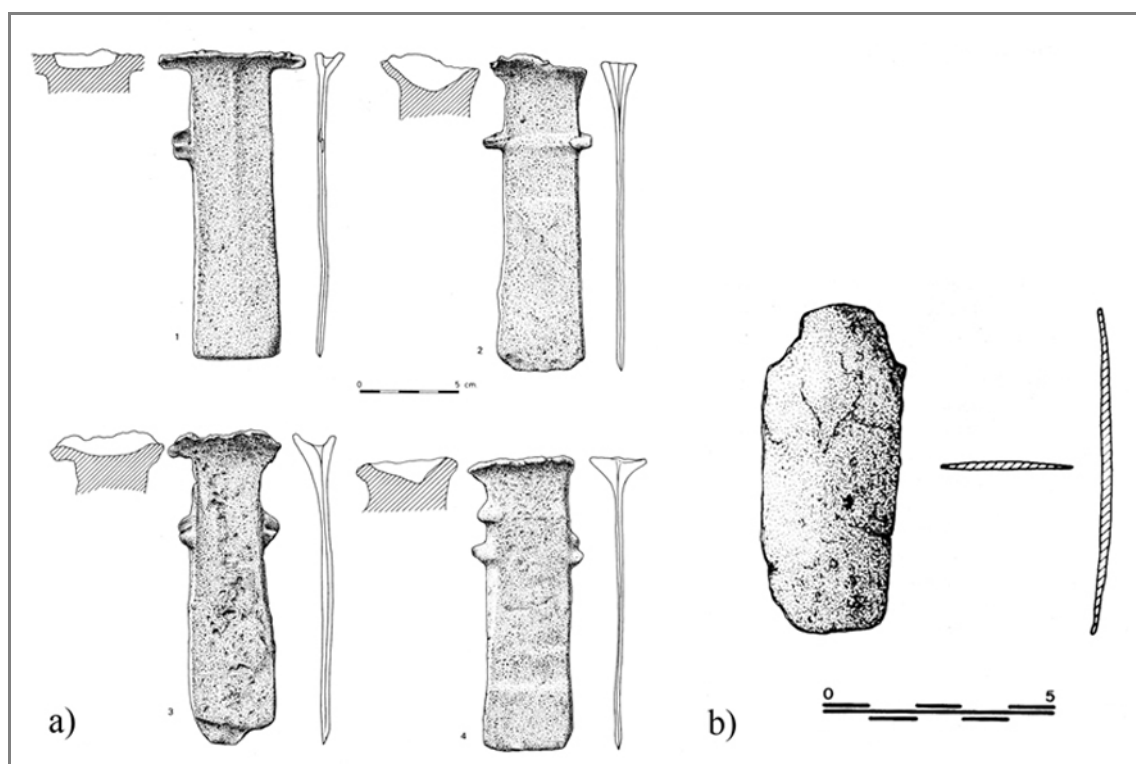


Fig. 10.34. a) Lingotes-hacha de C'an Mariano Gallet, según Delibes de Castro y Fernández Miranda 1988; b) Posible fragmento de lingote-hacha de Fonteta del Sarso, según Simón (1998).

El inventario de piezas hoy conocidas se completa con cuatro lingotes-hacha que fueron encontradas en la isla de Formentera, en el depósito de Ca'n Mariano Gallet, en Sant Francesc Xavier (Fernández 1973; Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988) (Fig. 10.34a); otras dos piezas estaban depositadas en el Museo de Novelda (Alicante) y, aunque su procedencia sea incierta, atendiendo a cuanto se indica en el inventario del Museo (González Prats 1985: 98), podrían proceder de alguna tumba de la necrópolis de El Tabaiá (Aspe, Alicante) (Fig. 10.33, T1 y T2).

Otro posible fragmento de lingote-hacha podría ser una fina lámina de metal procedente de Fonteta del Sarso (Crevillente, Alicante) –a veces clasificada como fragmento de puñal (Fig. 10.34b)– que presenta una anchura de 28 mm y un grosor de 20 mm (Simón 1998: 53 y 324).

Numerosos fragmentos fueron encontrados en el yacimiento de la Peña Negra, en la Sierra de Crevillente, Alicante (González Prats 1985) (Fig. 10.33, MC y PN). En este yacimiento, el descubrimiento de algunas piezas morfológicamente análogas a las que proceden de los depósitos de Elche y Formentera pero fabricadas en plomo –hasta entonces se conocían ejemplares fabricados en cobre, cobre plomado y bronce– dio el empujón definitivo para reinterpretar la función de estas hachas y se volvió a considerar la hipótesis de que pudieran haberse utilizado como lingotes o barras premonetales. De hecho, la composición química del metal de algunos ejemplares –plomo o cobres altamente plomados– no proporcionaba al objeto una dureza suficiente para que se utilizara como hacha (González Prats 1985) y, como ya se ha mencionado, su escaso grosor (que varía aproximadamente entre 2-5 mm) excluía la posibilidad de que estas piezas fueran utensilios de uso diario (Tabla 10.14).

En el estudio realizado por J.L. Simón (1998: 324) sobre la metalurgia prehistórica valenciana, cuando el autor menciona los ejemplares de lingotes-hacha conocidos, incluye también una pieza procedente del depósito de La Sabina, en la isla de Formentera (Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988: 90-91), y otro ejemplar descontextualizado cuya procedencia es incierta, aunque se indica que podría haber sido recogido en la zona del Camp de Tarragona (Martí Jusmet 1969-1970: 134-136). Sin embargo, se trata de nuevo de una confusión generada por la denominación que originariamente fue atribuida a este tipo de objetos. Estos dos ejemplares de hacha corresponden al tipo de apéndices laterales y el grosor de sus secciones nos indica claramente que no se trata de lingotes-hacha; de hecho, en el primer caso, la sección tiene un grosor de 13 mm, mientras que el ejemplar del Camp de Tarragona tiene un espesor de aproximadamente 11 mm.

El fragmento encontrado en La Fonteta (F55031) procede del Corte 65 y ha sido recogido en un depósito formado por varias capas de relleno, cuya cronología no es del todo fiable ya que son estratos que se encuentran muy revueltos.

Procedencia	Longitud (en mm)	Anchura (en mm)	Grosor (en mm)	Peso (en g)	Composición	Bibliografía
La Alcudia (MAN 18162)	169	45	4	163,9	Cobre plomado*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18163)	150	37	4	133,5	No analizada	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18164)	147	32	3,5	112,4	Cobre*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18165)	154	45	4	155,7	Cobre*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18166)	150	30	3,5	123,1	Cobre*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18167)	150	45	4,5	185,1	Cobre*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18168)	135	30	4,5	140,1	Cobre*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18169)	145	35	3	147,9	Cobre*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18170)	135	38	4,5	163,7	Cobre muy plomado*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18171)	130	35	4	122,4	Bronce plomado*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18172)	105 (frag)	48	4	145,5	Cobre muy plomado*	Almagro Basch 1967
La Alcudia (Museo de Elche 79/1)	140	36	2		Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/2)	165	38	2		Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/3)	152	41	3,5		Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/4)	151	34	3,5		Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/5)	154	30	2,2		Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985

Procedencia	Longitud (en mm)	Anchura (en mm)	Grosor (en mm)	Peso (en g)	Composición	Bibliografía
La Alcudia (Museo de Pamplona)	162	48	3,5		No analizada	Monteagudo 1977; González Prats 1985
El Tabaiá T1	160	40	4	165,07	Cobre plomado	González Prats 1985; Simón 1998
El Tabaiá T2	140	42	4	116,47	Cobre	González Prats 1985; Simón 1998
Ca'n Mariano Gallet 1	157	46	3,5		Cobre	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
Ca'n Mariano Gallet 2	162,5	44	3		Bronce plomado	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
Ca'n Mariano Gallet 3	159	44	5		Cobre	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
Ca'n Mariano Gallet 4	156	43	2,5		Cobre	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
Peña Negra/5823	145	37	2,5		Cobre	González Prats 1985
Peña Negra/PNs1	50 (frag)	25	2		Bronce	González Prats 1985
Peña Negra/MC1	62 (frag)	29	2		Cobre	González Prats 1985
Peña Negra/MC2	30 (frag)	35	2		Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC3	44 (frag)	38	2		Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC4	40 (frag)	27	2		Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC5	14 (frag)	30	2		Bronce	González Prats 1985
Peña Negra/MC6	32 (frag)	30	2		Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC7	13 (frag)	32	2		Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC8	38 (frag)	30	2		Cobre muy plomado	González Prats 1985
Peña Negra/MC9	30 (frag)	30	2		Bronce plomado	González Prats 1985
Peña Negra/MC10	29 (frag)	30	2		Cobre plomado	González Prats 1985
Fonteta del Sarso	70 (frag)	28	2		Bronce plomado	Simón 1998
La Fonteta F55031	30 (frag)	35	2,4		Cobre muy plomado*	Inédita

Tabla 10.14. Tabla comparativa de las medidas, peso y composición de los lingotes-hacha (frag: fragmento). *Estas piezas fueron analizadas por ED-XRF dentro del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica.

Presenta una anchura de 30,4 mm y un grosor de 2,4 mm, unas medidas que son compatibles con el tamaño de las improntas de los moldes de arenisca encontrados en el yacimiento (Tabla 10.15).

Molde	Profundidad (en mm)		Anchura (en mm)	
	1 ^{er} rebaje	2 ^o rebaje	1 ^{er} rebaje	2 ^o rebaje
F10084	1,75		30 (sección completa?)	
F11051	1,5	1,5	nr	>28
F21113	2,1	1,8 (?)	31 (sección completa)	nr
F21114	2	2	nr	nr
F21115	2,1		>27	
F21116	1,55	1,9	>26	>24
F35689	2		30 (sección completa)	
F35691	1,1 (filo?)	1,6	>21,5	>29,8
F41362	1,9	1,3 (filo?)	nr	>24
F50052	1,7	2,1	nr	31 (sección completa?)
F50150	1,8		nr	
F50173	1,85	1,7	nr	>22
F50175	1,7	1,6	>26	>20

Tabla 10.15. Medidas de los rebajes de los moldes líticos para fundir lingotes-hacha de La Fonteta (nr: no reconstruible).

El acabado de la pieza es muy basto, sus superficies no están pulidas y se aprecia la presencia de rebabas que parecen confirmar el uso de valvas asimétricas. El tamaño reducido de este fragmento de lingote-hacha no permite determinar si estaba provisto de “apéndices laterales”, unos elementos que no siempre están presentes en los ejemplares encontrados y que, por ejemplo, no se han documentado en ninguna pieza procedente de Peña Negra. Según parece sugerir el estudio detallado de un ejemplar procedente del depósito de La Alcudia y conservado en el Museo de Elche, estos apéndices serían el positivo de elementos de acoplamiento de las valvas del molde y tendrían, por tanto, la función de proporcionar un mejor anclaje de las matrices (González Prats 1985: 98). Pero, es evidente que este factor técnico no fue empleado en todos los casos, como parecen confirmar también los restos de rebabas que se aprecian en numerosas piezas y la falta de evidencias del negativo de estas protuberancias en los moldes de La Fonteta.

Esta pieza ha sido analizada por espectrometría de fluorescencia de rayos X para determinar su composición elemental. Como se muestra en la Tabla 10.16, los resultados analíticos obtenidos indican que se trata de un bronce pobre (1,3% Sn) o, si consideramos la tasa de estaño como una impureza del metal, se trataría de un cobre muy plomado.

Muestra	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Pb	Bi
F55031	0,18	nd	33,3	nd	nd	0,004	1,3	nd	nd	65,2	nd

Tabla 10.16. Resultados ED-XRF de la composición elemental del fragmento de lingote-hacha F55031 de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado). Esta pieza ha sido analizada dentro del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica.

De acuerdo con la anchura y el grosor de todos los lingotes-hacha encontrados hasta la fecha, podemos establecer dos grupos de materiales (Tabla 10.17). Por un lado, están los que presentan valores superiores a 3 mm de grosor, incluyendo la mayoría de las piezas de La Alcudia, tres de las de Formentera y las dos de El Tabaiá (Grupo 1). Por otro lado, el Grupo 2 está formado por lingotes-hacha con grosores inferiores o iguales a 2,5 mm y está integrado por todas las piezas de Peña Negra, el ejemplar de Fonteta del Sarso, el fragmento de La Fonteta, y también quedarían incluidas las piezas que se habrían fundido en los moldes de La Fonteta. Además, plenamente integrados en este Grupo 2 tendríamos tres piezas de La Alcudia y una de las piezas del depósito de C'an Mariano Gallet (n. 4). Esta última por grosor quedaría incluida en este grupo, pero se diferencia por su anchura que es mayor de 40 mm, un valor que no alcanza ninguno de los otros lingotes-hacha del Grupo 2 (Fig. 10.35).

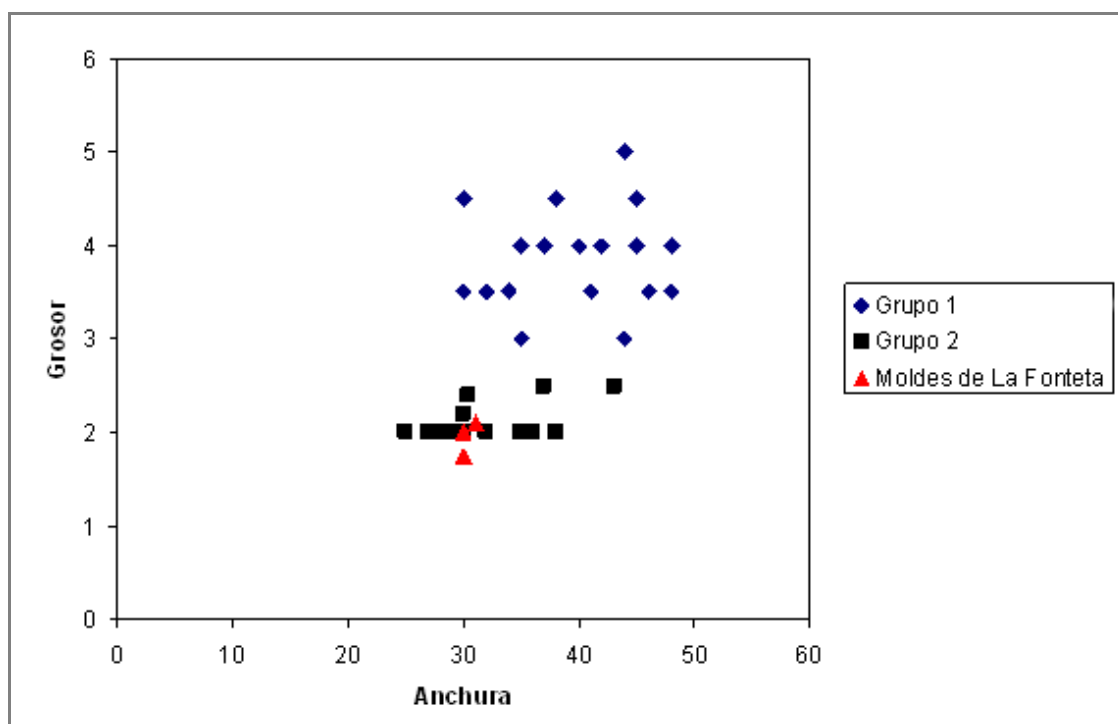


Fig. 10.35. Distribución de los lingotes-hacha según la pertenencia al Grupo 1 o Grupo 2.

Si atendemos al tipo de metal o aleación de estos lingotes (Tabla 10.17), observamos que los que constituyen el Grupo 1 son principalmente de cobre sin

aleación de estaño, a excepción de dos bronce plomados, uno procedente de La Alcudia (MAN 18171) y otro de C'an Mariano Gallet (n. 2).

Procedencia	Anchura (en mm)	Grosor (en mm)	Composición	Grupo
La Alcudia (MAN 18162)	45	4	Cobre plomado*	1
La Alcudia (MAN 18163)	37	4	No analizada	1
La Alcudia (MAN 18164)	32	3,5	Cobre*	1
La Alcudia (MAN 18165)	45	4	Cobre*	1
La Alcudia (MAN 18166)	30	3,5	Cobre*	1
La Alcudia (MAN 18167)	45	4,5	Cobre*	1
La Alcudia (MAN 18168)	30	4,5	Cobre*	1
La Alcudia (MAN 18169)	35	3	Cobre*	1
La Alcudia (MAN 18170)	38	4,5	Cobre muy plomado*	1
La Alcudia (MAN 18171)	35	4	Bronce plomado*	1
La Alcudia (MAN 18172)	48	4	Cobre muy plomado*	1
La Alcudia (Museo de Elche 79/3)	41	3,5	Cobre	1
La Alcudia (Museo de Elche 79/4)	34	3,5	Cobre	1
La Alcudia (Museo de Pamplona)	48	3,5	No analizada	1
El Tabaiá T1	40	4	Cobre plomado	1
El Tabaiá T2	42	4	Cobre	1
Ca'n Mariano Gallet 1	46	3,5	Cobre	1
Ca'n Mariano Gallet 2	44	3	Bronce plomado	1
Ca'n Mariano Gallet 3	44	5	Cobre	1
La Alcudia (Museo de Elche 79/1)	36	2	Cobre	2
La Alcudia (Museo de Elche 79/2)	38	2	Cobre	2
La Alcudia (Museo de Elche 79/5)	30	2,2	Cobre	2
Ca'n Mariano Gallet 4	43	2,5	Cobre	2
Peña Negra/5823	37	2,5	Cobre	2
Peña Negra/PNs1	25	2	Bronce	2
Peña Negra/MC1	29	2	Cobre	2
Peña Negra/MC2	35	2	Plomo	2
Peña Negra/MC3	38	2	Plomo	2
Peña Negra/MC4	27	2	Plomo	2
Peña Negra/MC5	30	2	Bronce	2
Peña Negra/MC6	30	2	Plomo	2
Peña Negra/MC7	32	2	Plomo	2
Peña Negra/MC8	30	2	Cobre muy plomado	2
Peña Negra/MC9	30	2	Bronce plomado	2
Peña Negra/MC10	30	2	Cobre plomado	2
Fonteta del Sarso	28	2	Bronce plomado	2
La Fonteta/F55031	30,4	2,4	Cobre muy plomado*	2
La Fonteta/F10084	30	1,75	Molde	2
La Fonteta/F21113	31	2,1	Molde	2
La Fonteta/F35689	30	2	Molde	2
La Fonteta/F50052	31	2,1	Molde	2

Tabla 10.17. Clasificación de los lingotes-hacha con indicación del grosor y anchura de su sección, ordenados por grupo de pertenencia. Se incluyen las improntas de los rebajes de los moldes de La Fonteta con sección completa como indicador de las dimensiones de las piezas fabricadas. *Estas piezas fueron analizadas por ED-XRF dentro del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica.

En cuatro casos –tres de La Alcudia (MAN 18162, 18170 y 18172) y uno de El Tabaiá (T1)– el cobre aparece aleado con plomo, y en dos de ellas los valores están por encima del 20% Pb (La Alcudia, MAN 18170 y 18172) (Tabla 10.18).

El segundo grupo presenta una variación en las composiciones mayor que la del Grupo 1. Cinco ejemplares –todos procedentes de Peña Negra– son de plomo, otros dos son bronce plomados, dos son bronce binarios, y finalmente otras seis piezas son de cobre sin alear. En estas últimas se encuentran tres ejemplares de La Alcudia (ME 79/1, ME 79/2 y ME 79/5), otra de C'an Mariano Gallet (n. 4) y dos de Peña Negra (5823 y MC1). Por tanto, con respecto a La Alcudia se observa que los materiales son principalmente de cobre independientemente del grupo en el que los clasifiquemos, mientras que las piezas de Peña Negra, todas del Grupo 2, son mayoritariamente aleaciones con estaño y plomo (Fig. 10.36).

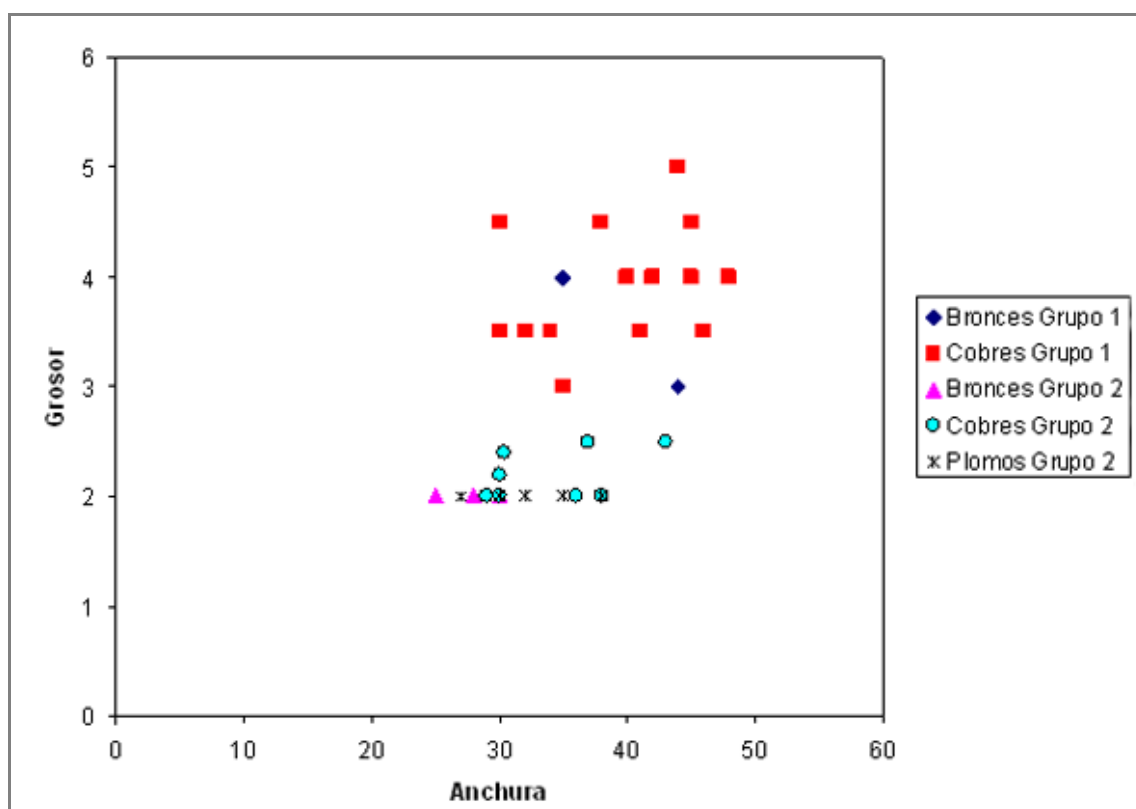


Fig. 10.36. Distribución de los lingotes-hacha según la composición y el grupo de pertenencia.

Dadas las variaciones formales y compositivas no acaba de perfilarse un patrón claro que permita identificar un proceso de estandarización genérico de la producción.

Procedencia	Cu	As	Fe	Sn	Pb	Ga*	Composición	Bibliografía
La Alcudia (MAN 18162)	85,40	nd	0,54	0,14	12,25	nd	Cobre plomado	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18164)	96,73	nd	0,65	0,14	1,93	nd	Cobre	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18165)	98,13	0,44	0,52	0,13	0,66	nd	Cobre	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18166)	99,49	nd	0,29	nd	0,19	nd	Cobre	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18167)	99,36	nd	0,17	0,11	0,15	nd	Cobre	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18168)	98,78	nd	0,04	0,73	0,22	nd	Cobre	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18169)	97,00	nd	0,29	0,24	2,40	nd	Cobre	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18170)	52,74	nd	0,29	0,06	46,77	nd	Cobre muy plomado	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18171)	91,15	nd	0,09	4,40	4,25	nd	Bronce plomado	Almagro Basch 1967
La Alcudia (MAN 18172)	62,76	nd	0,46	nd	36,68	nd	Cobre muy plomado	Almagro Basch 1967
La Alcudia (Museo de Elche 79/1)	99,50	0,40	0,10	nd	nd	nd	Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/2)	99,75	0,15	0,10	nd	nd	nd	Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/3)	99,75	0,12	0,13	nd	nd	nd	Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/4)	99,80	0,07	0,13	nd	nd	nd	Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
La Alcudia (Museo de Elche 79/5)	99,70	0,12	0,17	nd	nd	nd	Cobre	Monteagudo 1977; González Prats 1985
El Tabaiá T1	85,76	1,35	0,23	nd	12,00	nd	Cobre plomado	González Prats 1985; Simón 1998
El Tabaiá T2	94,62	1,68	nd	1,32	1,85	nd	Cobre	González Prats 1985; Simón 1998
C'an Mariano Gallet 1	99,37	nd	0,16	0,04	0,11	nd	Cobre	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
C'an Mariano Gallet 2	76,51	nd	0,38	14,93	7,02	nd	Bronce plomado	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
C'an Mariano Gallet 3	98,76	nd	0,18	0,64	0,08	nd	Cobre	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
C'an Mariano Gallet 4	99,50	nd	0,17	0,01	nd	nd	Cobre	Delibes de Castro y Fernández-Miranda 1988
Peña Negra/5823	94,20	nd	0,54	nd	4,80	nd	Cobre	González Prats 1985
Peña Negra/PNs1	93,70	nd	0,10	6,30	nd	nd	Bronce	González Prats 1985
Peña Negra/MC1	98,70	0,12	0,07	0,90	0,30	nd	Cobre	González Prats 1985
Peña Negra/MC2	1,05	nd	0,23	nd	97,30	1,30	Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC3	0,50	nd	0,12	nd	98,00	1,40	Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC4	0,50	nd	0,11	nd	97,80	1,50	Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC5	87,30	nd	0,10	6,20	nd	6,30	Bronce	González Prats 1985

Procedencia	Cu	As	Fe	Sn	Pb	Ga*	Composición	Bibliografía
Peña Negra/MC6	0,80	nd	0,14	nd	97,60	1,30	Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC7	0,65	nd	0,16	nd	98,00	0,90	Plomo	González Prats 1985
Peña Negra/MC8	20,00	nd	0,15	nd	78,50	1,30	Cobre muy plomado	González Prats 1985
Peña Negra/MC9	90,00	nd	0,10	6,00	3,70	nd	Bronce plomado	González Prats 1985
Peña Negra/MC10 a (núcleo de Cu)	98,2	nd	0,10	0,80	0,60	nd	Cobre plomado	González Prats 1985
Peña Negra/MC10 b (fase con Pb)	6,70	nd	0,20	nd	92,80	0,70	Cobre plomado	González Prats 1985
Fonteta del Sarso	86,10	1,62	0,14	7,68	4,38	nd	Bronce plomado	Simón 1998
La Fonteta F55031	33,3	nd	0,18	1,3	65,2	nd	Cobre muy plomado	Inédita

Tabla 10.18. Resultados ED-XRF (% en peso) de la composición de los lingotes-hacha (nd: no detectado).

*El galio ha sido publicado en González Prats (1985) como elemento presente en la composición de las piezas aunque nosotros consideramos que pueda ser debido a alguna contaminación o problemas de lectura del espectro durante el análisis, ya que hasta la fecha no se conoce ningún objeto antiguo que presente cantidades apreciables de galio.

En los dos yacimientos con más información, La Alcudia y Peña Negra, se observan tendencias claramente opuestas, en el primero predominan lingotes-hacha con grosores mayores y el uso del cobre como metal base, mientras que en el segundo los grosores de las piezas son menores y predominan las aleaciones de estaño y el uso del plomo.

Si nos fijamos en el peso de las piezas completas, observamos una gran diferencia entre los valores extremos (185,1 g frente a 112,4 g), es decir el mayor tiene un 64% de peso más en relación al de menor peso. El valor medio de la serie es 144,1 g con una desviación estándar $\sigma = 23,1$. Las variaciones son elevadas para pensar en procesos estandarizados, ya que tampoco encontramos en la distribución una moda que defina la serie; más bien se observa una distribución continua.

Atendiendo al fenómeno geográficamente muy localizado que actualmente percibimos en la distribución de estos lingotes-hacha (véase mapa en Fig. 10.32), a la ausencia de funcionalidad más allá de una acumulación de metal y a la diversidad de metales y aleaciones empleadas, se podría argumentar a favor de producciones de lingotes obtenidos con metales procedentes de las diversas fases de la cadena metalúrgica (cobre, cobres plomados, bronce, bronce plomado y plomo), ya sea a partir de metal nuevo obtenido por reducción de mineral (cobre) o de reciclado de piezas (bronce pobre y bronce plomado) o incluso de las tareas de obtención de plata (plomo y cobres plomados). Esta acumulación de metal en lingote tendría un probable consumo de carácter local, en el que cada yacimiento genera sus propias pautas formales dentro de un patrón común al área en que se identifican y que, de momento, es ajeno a otros yacimientos fenicios o de influencia fenicia en la Península Ibérica. Si se asume esta función de lingote, se comprende que las piezas carezcan de retoques o modificaciones posteriores a su fundición, conservando el metal de la mazarota, las rebabas o los apéndices de anclaje, y que no se cuide la calidad de la fundición como se aprecia en la mayoría de los ejemplares. Eliminar esos elementos sobrantes sólo serviría para perder metal, intencionalidad contraria a la que debe tener un lingote como elemento de acumulación. La ausencia de esos recortes o manipulaciones generan en consecuencia un menor control final de la cantidad de metal (peso) de cada lingote. Pero, si su destino es el consumo interno, no sería necesario buscar un control más preciso.

Por otra parte, su forma laminar facilitaría el corte de las cantidades necesarias para procesos de fundición concretos en un taller, de manera mucho más práctica que, por ejemplo, los lingotes plano-convexos macizos contemporáneos. Además, no deja de ser significativo que en Peña Negra, un taller metalúrgico destacado, la gran mayoría de estos lingotes-hacha se recuperaran fragmentados.

Actualmente, la presencia de moldes para fundir lingotes-hacha está claramente documentada sólo en La Fonteta, y dudosamente en Peña Negra. Ambos poblados presentan además claros indicios de una producción metalúrgica diversificada, dedicada a la obtención tanto de hierro como de plomo, cobre y sus aleaciones. Esta diversificación de las actividades metalúrgicas parece reflejarse también en las distintas composiciones de los lingotes-hacha encontrados. Sin embargo, las medidas de la mayoría de los ejemplares de La Alcudia, de Formentera y de El Tabaiá no encajan con las producciones de esos dos yacimientos, por lo que es probable que en la zona hubiese algún o algunos otros centros productores de este tipo de lingote.

En el caso de La Alcudia, estos ejemplares aparecieron sin información contextual en 1892. Su acumulación habría que interpretarla como un proceso de almacenaje de materia prima, principalmente cobre. El hallazgo debería ubicarse en un contexto de hábitat ya que, como indica Simón (1998: 53-55), La Alcudia es un poblado de amplio desarrollo cronológico. Por el contrario, en el caso de C'an Mariano Gallet, los lingotes forman parte de un depósito junto con otras piezas metálicas elaboradas (cuatro hachas de talón con anillas). Esta forma de deposición de lingotes con objetos sería equivalente a la de otro depósito de Formentera, el de La Sabina, aunque en este último caso la forma del lingote es plano-convexa en lugar de tener forma de hacha. Además, debemos tener en cuenta que los lingotes de C'an Mariano Gallet son los únicos que se salen de la zona geográfica de distribución de este tipo de piezas en ámbito peninsular. Por tanto, su acumulación en un depósito respondería a unas circunstancias diferentes a las de los lingotes destinados al consumo local, como se ha propuesto para el resto de los ejemplares objeto de este estudio (Renzi 2010).

10.2 LOS OBJETOS DE PLOMO

Se han seleccionado para su estudio dieciséis objetos de plomo procedentes de La Fonteta. En la mayoría de los casos, se trata de elementos de forma y función indeterminada, como fragmentos laminares, plaquitas enrolladas y se han documentado algunos restos filiformes tipo varillas. Se han identificado también dos posibles ponderales, de los que se hablará más detenidamente en un apartado específico. Todas las piezas están recubiertas por una capa más o menos gruesa de corrosión.

La mayoría de estos objetos de plomo proceden de los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1 y pertenecen al periodo arcaico de frecuentación del yacimiento (fases I-II); a finales del mismo periodo (fase III) pertenecen también otras piezas recogidas en los Cortes 5 y 7, mientras que dentro de la fase reciente de La Fonteta (fase VI) se han fechado sólo tres fragmentos (Tabla 10.19).

N. Invent.	Objeto	Corte	Estrato	Fase
F11112	Lámina (varios fragmentos)	7C/E	B11 base	III
F31244	Lámina curva con un extremo enrollado (pesa de red)	5B	A2b	VI
F31245	Lámina doblada (pesa de red)	8AB testigo	A3	VI
F31246	Lámina, recorte	5A	A3	VI
F31247	Objeto laminar en forma de "banderita"	5B	B9a	III
F41852	Placa con hendidura	54N	B1/B3d	II
F31252	Plaquita doblada (pesa de red)	5N/6N	B9	II
F55045	Plaquita doblada (pesa de red)	1W	B2b	II
F55034	Ponderal en forma de "bala"	1W	B1	II
F12760	Ponderal cúbico	7B	B11 base	III
F41868	Varilla sec. cuadrangular, frag.	54N	B3c1	II
F41865	Varilla sec. cuadrangular, frag.	54S/W	B6 arena	I
F41867	Varilla sec. cuadrangular, frag.	54N	B11	II
F55044	Varilla sec. cuadrangular, frag.	1W	B1b	II
F55046	Varilla sec. cuadrangular	1W	B1	II
F50152	Vástago o punzón, sec. cuadrangular	54N	B1	II

Tabla 10.19. Listado de los objetos de plomo seleccionados de La Fonteta, con su respectiva información de procedencia estratigráfica y atribución cronológica a las distintas fases del yacimiento.

Sin embargo, la atribución cronológica de estas tres piezas no se puede considerar del todo segura debido a que su contexto de procedencia corresponde a acumulaciones de detritos domésticos cuya estratigrafía estaba bastante revuelta. En consecuencia, la mayor concentración de artefactos de plomo se da, por lo menos en el estado actual de

las investigaciones, durante el periodo arcaico de ocupación de La Fonteta, coincidiendo con lo documentado también en las galenas y en los goterones de plomo.

Pasando al análisis de las características morfológicas de estos objetos, se trata de piezas muy sencillas y la tipología a menudo no es reconocible debido a su estado fragmentado.

De los cuatro elementos laminares, sólo dos parecen ser piezas completas, aunque su función no está del todo clara. Una de ella (F31244; Fig. 10.37a) corresponde a una pequeña lámina ligeramente curva, de 31x13 mm de tamaño (todo el cuerpo) y 11,15 g de peso, con uno de los extremos parcialmente enrollado; su grosor es variable a lo largo del cuerpo y oscila entre 1,7 y 2,3 mm. Por tamaño y por la curvatura de sus extremos podría tratarse de una pesa de red. Este parece ser también el caso de la segunda pieza completa que se ha seleccionado y que corresponde a una fina lámina cuyos lados están del todo doblados sobre sí mismos y aplastados a lo largo del eje mayor (F31245; Fig. 10.37c); su tamaño es de 20x9 mm y pesa 2,11 g, el grosor es de aproximadamente 1 mm.



Fig. 10.37. Fragmentos de elementos laminares de plomo procedentes de La Fonteta: a) F31244; b) F11112; c) F31245; d) F31246.

Los otros dos fragmentos corresponden a recortes de láminas. F11112 (Fig. 10.37b) es el más grande de siete fragmentos que se encontraron juntos y que en origen pertenecerían a la misma lámina; mide 30x22 mm y pesa 16,17 g. El fragmento en cuestión presenta una ligera curvatura de los lados que se aprecia más claramente en otro de los siete fragmentos encontrados; la cara inferior es irregular y presenta óxidos e

incrustaciones terrosas, sugiriendo que podría haberse desprendido de algún soporte arcilloso, posiblemente un crisol. El grosor de la lámina es de 1,5 mm.

El último elemento laminar seleccionado (F31246; Fig. 10.37d) mide 27x25 mm y su peso es de 7,09 g; presenta un grosor de alrededor de 2 mm. Las superficies son lisas y regulares.

Se han seleccionado otros dos elementos planos (plaquitas), que presentan mayor grosor comparados con las láminas anteriormente descritas. Los lados están doblados a lo largo del eje mayor sin llegar a cerrar del todo y ambos parecen estar completos. El primero de ellos (F55045; Fig. 10.38a) mide 30x10 mm (doblado) y pesa 9,05 g; el grosor es variable y está entre 2,5 y 3,2 mm. La otra plaquita (F31252; Fig. 10.38b) mide 28x8 mm y pesa 8,7 g; su grosor varía de 2,8 a 3,3 mm y está muy afectado por fenómenos de corrosión. En ambos casos podría tratarse de pesas de red.



Fig. 10.38. Pesas de red de plomo procedentes de La Fonteta: a) F55045; b) F31252.



Fig. 10.39. Objeto de plomo en forma de “banderita” (F31247) procedente de La Fonteta.

Hay que mencionar también el hallazgo de un objeto plano, de poco más de 3 mm de grosor, cuya forma, con el extremo triangular, recuerda una pequeña bandera (F31247; Fig. 10.39). Está completo y en total mide 45 mm, siendo la “banderita” 15 mm y el vástago 30 mm de largo; el peso es de aproximadamente 8 g. No se

conocen objetos similares y su función nos es totalmente desconocida, pero su forma parece ser intencional ya que no se aprecian en sus superficies signos de cortes o fracturas.



Fig. 10.40. Plaquita F41852 procedente de La Fonteta.

y presenta una fina hendidura longitudinal (Fig. 10.40); mide 28x19 mm y su peso es de 12,8 g.

Por último, hay una pieza de incierta interpretación que corresponde a una placa de plomo de forma irregularmente rectangular (F41852). Este objeto parece estar incompleto aunque la oxidación de los bordes no permite determinar con seguridad si se trata de fracturas. Es ligeramente curvo

Aparte de los recortes de láminas y de las pesas de red, se han encontrado varios fragmentos de forma alargada que se han clasificado genéricamente como restos de varillas, ya que no se puede reconstruir sus características originales (Fig. 10.41).



Fig. 10.41. Fragmentos de varillas de plomo procedentes de La Fonteta.

Los cuatro fragmentos seleccionados tienen sección cuadrangular y son de pequeño tamaño, de entre 21 y 25 mm de longitud. El ejemplar más fino, que presenta una sección aplanada, tiene un grosor de 2,6 mm, el mediano tiene un grosor de 3,6 mm mientras que en los dos restantes el grosor mide 5 mm. De todos modos, estos fragmentos presentan un estado de oxidación bastante avanzado y, por tanto, el espesor medido podría no reflejar el grosor original.

En este grupo hay que incluir también una pieza de dimensiones bastante significativas (F55046), de alrededor de 130 mm (Fig. 10.42). Su estado fragmentado y su marcada corrosión no permiten determinar si está completa y si uno de los extremos o ambos terminan en punta. Uno de los lados parece recto, por tanto es probable que su sección originariamente fuera cuadrangular; el grosor actual en la zona mejor conservada es de aproximadamente 3 mm.



Fig. 10.42. Varilla de plomo F55046 procedente de La Fonteta.



Fig. 10.43. Vástago de plomo F50052 procedente de La Fonteta.

Otro objeto que también se puede incluir en este grupo es un elemento alargado de sección cuadrangular terminado en punta (F50052; Fig. 10.43). La avanzada corrosión de su superficie ha llegado a deformar el cuerpo de la pieza y presenta un abultamiento que parece corresponderse a una

concreción de óxidos y tierras, tampoco permite determinar con seguridad si la pieza no está completa, aunque parece que falte por lo menos el extremo puntiagudo; el fragmento conservado mide 44x6 mm y pesa 13,76 g. Se ha definido genéricamente como vástago ya que no son comunes los punzones fabricados en plomo.

Los datos para poder efectuar un estudio comparativo de estos objetos son muy escasos. Actualmente hay pocos trabajos en los que se hayan publicado artefactos de plomo, especialmente para el periodo fenicio. Piezas de tipología similar a las que ha proporcionado La Fonteta se han recogido, por ejemplo, en las excavaciones de sa Caleta, en Ibiza; se trata de algunas pesas para redes de pesca constituidas por láminas o planchas enteramente o parcialmente enrolladas, de algunos fragmentos de láminas y de una varilla doblada de sección aparentemente redondeada (Ramón Torres 2007: 121). También en otros yacimientos fenicios –como, por ejemplo, en La Rebanadilla (Málaga)³ y en Abdera (Adra, Almería) (Carpintero 2009: 131), entre otros–, se ha documentado la presencia de pesas de red, pero la fabricación de objetos en plomo en esta época no parece ser una práctica común; además, estos elementos rara vez son objeto de estudios especializados.

10.2.1 Los ponderales



Fig. 10.44. Ponderal en forma de “bala” F55034 procedente de La Fonteta.

En La Fonteta se han identificado dos posibles ponderales. El primero de ellos (F55034) tiene forma similar a la de una plomada o de una bala. El cuerpo es irregularmente trapezoidal y termina en punta (Fig. 10.44); sólo uno de sus lados es recto y parece constituir una base de apoyo, mientras que los otros tres tienen los ángulos ligeramente redondeados. Presenta una longitud de 35 mm y, si

consideramos el lado plano como base –de 15 mm de ancho–, la cara superior mide aproximadamente 11 mm y los otros dos lados 125 mm; su peso es de 60 g.

Procede de los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1 y se ha fechado dentro de la fase II del yacimiento. Su análisis por ED-XRF nos muestra un plomo muy puro con escasas impurezas de plata, de 0,006% Ag (Tabla 10.20).

³ Agradezco a Vicente M. Sánchez y Lorenzo Galindo de Arqueostudio, directores de las excavaciones de La Rebanadilla la posibilidad de estudiar los materiales metalúrgicos del yacimiento.

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Pb	Bi
PA13271	Ponderal en forma de “bala”	F55034	nd	nd	nd	nd	nd	0,006	nd	nd	nd	99,9	nd

Tabla 10.20. Resultados ED-XRF de la composición elemental del ponderal en forma de bala F55034 de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

Por el momento, no se conocen paralelos claros para esta pieza y su interpretación como ponderal no está del todo clara, aunque sus características morfológicas y métricas parecen apuntar en esta dirección. Sus antecedentes tipológicos más cercanos procederían de la necrópolis de Tarkhan en Egipto y son notablemente más antiguos, ya que han sido fechados dentro del IV milenio a.C. Se trata de dos ponderales líticos de forma muy similar al de La Fonteta y pesan respectivamente 35,3 g y 65,7 g (Rahmstorf 2006: 14-15, Fig. 1, n. 18). Sin embargo, para la época objeto de este estudio no se conocen pesas de morfología análoga, siendo en general todas de forma más cuadrangular, aunque sí se han documentado paralelos en cuanto a su peso. Por ejemplo, en la clasificación de J. Elayi y A.G. Elayi (1997) hay algunos ponderales, procedentes principalmente de la costa siro-palestina, que se aproximan al valor de 60 g, estando generalmente comprendidos entre 55 y 63 g pero, en la mayoría de los casos, se trata de ponderales en forma de paralelepípedo o rectángulo. Hay otros que se aproximan a nivel tipológico y presentan formas ligeramente piramidales con el extremo superior más o menos redondeado pero, comparados con el ejemplar de La Fonteta, el desarrollo de su cuerpo suele ser más acampanado y además no hay correspondencia en los pesos (Elayi y Elayi 1997).

Por lo que concierne a la Península Ibérica y Baleares, en Ibiza se han documentado algunos ejemplares con valores metrológicos afines (58-61,5 g), aunque no hay ninguna indicación cronológica fiable ya que se trata de hallazgos de superficie (Planas y Martín 1992). Su morfología es del tipo definido en cúpula, una imitación de algunas pesas egipcias de la dinastía XVIII (segunda mitad del II milenio a.C. aprox.). Su referencia a un determinado sistema ponderal no está del todo clara, ya que los autores proponen distintas teorías en relación con un patrón fenicio sin llegar a ninguna conclusión con respecto a las piezas que pesan alrededor de 60 g (Planas y Martín 1992: 89). También es tentadora la asociación de este ponderal con los proyectiles en plomo utilizados para las hondas, unas armas muy comunes en la antigüedad en las Islas Baleares, según nos indican numerosas fuentes históricas y los hallazgos arqueológicos realizados principalmente en la isla de Ibiza (Planas y Madrid 1994). Según Planas y

Martín (1992: 91) estos proyectiles junto con los ponderales constituirían objetos de cambio en la economía premonetal. Muchos de ellos presentan medidas y pesos muy cercanos al ejemplar de La Fonteta pero, aunque desde el punto de vista morfológico exista cierto parecido no hay una correspondencia directa porque la mayoría de estos proyectiles suelen presentar ambos extremos redondeados.

De todos modos, volviendo a los ponderales propiamente dichos, el peso de 60 g, o por lo menos su mitad, debió de ser una unidad metrológica conocida y utilizada en la Península Ibérica ya que existen varios paralelos en Andalucía y en Extremadura. Por ejemplo en Cancho Roano (Badajoz) se han encontrado veinticinco ponderales –aunque de cronología más tardía (aprox. s. V a.C.)–, cuya unidad de referencia es de 30-36 g (García Bellido 2003). Asimismo, otros paralelos para esta unidad de peso proceden de las excavaciones de El Cortijo de Evora (Cádiz) donde se recogieron dos ponderales de c. 30 g; algunos del mismo peso proceden también de El Castañuelo (Huelva) y de El Turuñuelo (Mérida) (García Bellido 2002: 95). Sin embargo, en ninguno de los casos se aclara a qué tipo de sistema metrológico hace referencia la unidad de peso de 30-36 g de la que el ponderal de La Fonteta sería el duplo, aunque para Cancho Roano se sugiere que podría depender de dos distintos sistemas ponderales fenicios de los que se hablará más adelante (García Bellido 2003).



Fig. 10.45. Ponderal en forma de cubo F12760 procedente de La Fonteta.

El segundo ponderal (F12760) encontrado en La Fonteta corresponde a un pequeño cubo cuyos lados miden aproximadamente 7 mm; pesa 2,44 g y no presenta ninguna marca o indicación de peso (Fig. 10.45). Procede del nivel de

uso del Corte 7 y ha sido fechado en la fase III de La Fonteta.

De acuerdo con el análisis por ED-XRF, se trata de un plomo bastante puro, con algo de cobre (Tabla 10.21), cuya presencia podría ser debida a una contaminación externa ya que el cubito se encontró adherido a un resto de fundición de base cobre.

N. Análisis	Objeto	N. Invent.	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Pb	Bi
PA20261	Ponderal cúbico	F12760	nd	nd	0,4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,5	nd

Tabla 10.21. Resultados ED-XRF de la composición elemental del ponderal cúbico F12760 de La Fonteta (expresados como % en peso; nd: no detectado).

En el yacimiento se ha documentado una pieza similar (González Prats 1999: 37 y lám. XVIII) que no hemos tenido la posibilidad de estudiar. Se trata de otro ponderal cúbico de plomo que presenta una marca central incisa en forma de círculo que, de acuerdo con varios paralelos orientales, podría corresponder a una letra fenicia, una *'ayin*, utilizada como indicación de peso (Elayi y Elayi 1997). Desafortunadamente no se publica ninguna información específica del corte de procedencia, de su cronología o de sus medidas y peso.

Estas pesas de forma cúbica o paralelepípeda corresponden a una tipología claramente fenicia documentada en varias ciudades de Oriente. Se solían utilizar para pesar cantidades pequeñas, probablemente metales nobles (Bron y Lemaire 1983: 770); y éste tuvo que ser seguramente el caso de la pesa cúbica anepígrafa de La Fonteta que, por su reducido tamaño y peso, se emplearía para pesar oro, plata o quizás también materiales más ligeros como, por ejemplo, el ámbar.

La mayoría de estos ponderales se fabricaba en bronce, aunque a partir del siglo VIII a.C. empiezan a documentarse también ejemplares en plomo. La forma cúbica o hexaédrica era característica de la región de Tiro y se ha documentado también en varias ciudades que estaban dentro de su zona de influencia comercial, como por ejemplo Akko, Samaria, Nimrud, Creta, etc. (Elayi y Elayi 1997: 326; Aubet 2002: 33).

En Occidente este tipo de pesas se encuentra generalmente fabricado en plomo y hasta ahora ha sido recogido siempre en yacimientos fenicios o íntimamente vinculados al mundo colonial fenicio. Por ejemplo, casi trescientos ejemplares proceden de la isla de Ibiza (Planas y Martín 1992) y a menudo presentan algún signo o letra incisos aunque no se hayan documentado inscripciones que puedan aclarar su peso. Estos ponderales ibicencos corresponden a medidas y pesos muy variados, por tanto tenían que hacer referencia a distintos sistemas metrológicos que, en casi todos los casos, parecen ser de origen fenicio u próximo oriental en general. No tienen una clara atribución cronológica, ya que se trata de hallazgos de superficie encontrados en la mayoría de los casos en terrenos de labranza (Planas y Martín 1992: 91).

Otros ponderales cúbicos similares están mejor contextualizados y proceden de excavaciones arqueológicas sistemáticas, con estratigrafías bien establecidas y de cronología contemporánea a la de La Fonteta. Se trata de los ejemplares recogidos en sa Caleta (Ibiza) (Ramón Torres 2007: 121), en el Cerro Salomón (Riotinto, Huelva) (Blanco *et al.* 1970: 16 n. 19), en El Carambolo (Camas, Sevilla) (Hunt *et al.* 2010: 287), en las excavaciones en la Plaza de las Monjas-C/Méndez Núñez de Huelva (González de Canales *et al.* 2004: 154-155; láms. XXXVIII, nn. 11-12), en la intervención arqueológica en el solar del Teatro Cómico en el casco antiguo de Cádiz⁴ y en el Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga) (Aubet 2002). Asimismo, en territorio portugués se menciona la presencia de dos ponderales cúbicos procedentes del yacimiento fenicio de la Quinta do Almaraz (Cacilhas, Almada), uno de la zona del Castillo de Alcácer do Sal, otros tres de unas excavaciones en el núcleo urbano del mismo Alcácer do Sal (Rua do Rato) y otro encontrado en la cercana necrópolis orientalizante de Olival do Senhor dos Mártires (Alcácer do Sal) (Vilaça 2011: 148). Sin embargo, algunos de estos ponderales se encuentran todavía en proceso de estudio, por tanto la información de la que actualmente disponemos es escasa y permite relacionar solamente a dos de ellos –por tamaño y/o por características metrológicas– con el de La Fonteta, en particular a uno de los dos encontrados en la Quinta do Almaraz y al más pequeño de los tres ponderales procedentes del Cerro del Villar.

La pieza de la Quinta do Almaraz es la más cercana por peso, aunque su tamaño es ligeramente mayor respecto a nuestro ejemplar; mide unos 15 mm de lado y pesa 2,63 g. Según el excavador del yacimiento, al igual que la pesa más grande, esta pieza podría presentar figuras de animales grabadas, en este caso un cerdo o una cabra/oveja (Vilaça 2011: 147, Fig. 6.1-2).

De los tres ponderales cúbicos recogidos en el Cerro del Villar, el de menores dimensiones presenta medidas similares al de La Fonteta. Sus lados miden 7x8 mm pero su peso constituye casi el duplo, siendo de 5,33 g; también es anepígrafa y no presenta ninguna letra incisa (Aubet 2002).

⁴ Quiero agradecer al director de la intervención arqueológica, Juan Miguel Pajuelo, de la empresa Bauen, y al equipo de la intervención –María de los Ángeles Navarro García y José María Gener Basallote– la posibilidad de estudiar los materiales metálicos procedentes de los niveles fenicios del yacimiento. Esta excavación está promovida por el Ayuntamiento de Cádiz y por la Junta de Andalucía (Cádiz, 2006-2010).

Para los valores metrológicos de estas pesas del Cerro del Villar se ha sugerido que podrían encajar en un sistema con una unidad de base de aproximadamente 7,5-7,8 g o 14 g, el llamado shekel “fenicio” (shekel ligero o pesado), que parece haber sido introducido en Occidente durante la expansión fenicia del siglo VIII a.C. (Breglia 1966: 64). Sin embargo, esta relación con el patrón “fenicio” puede ser correcta para las pesas mayores –en las que el valor del intermedio (14,18 g) corresponde a la mitad del grande (29,06 g), es decir, que este último podría corresponder a un doble shekel de 14 g o a cuatro shekels de 7 g–, pero la tercera pesa (5,33 g) no encajaría en este sistema (Aubert 2002: 34). Es posible pues que haga referencia a un patrón ponderal diferente, a menos que no se suponga que se trate de un divisor menor, en este caso de $\frac{2}{3}$ de shekel ligero, teniendo así una relación de pesos de 4:2: $\frac{2}{3}$. Si así fuera, la pesa pequeña de La Fonteta –de 2,44 g– podría pertenecer al mismo sistema ponderal y correspondería a $\frac{1}{3}$ de shekel, pero hay que hacer notar que divisores de este tipo no parecen ser comunes en la metrología fenicia.

En este sistema basado en el shekel ligero de 7,5 g encajaría también el peso del ponderal de La Fonteta en forma de bala, ya que 60 g corresponderían a 8 shekels. Existiría pues una relación entre los sistemas metrológicos utilizados en La Fonteta y en el Cerro del Villar, dos yacimientos que muestran un estrecho vínculo en varios aspectos de la cultura material, sobre todo con respecto a la metalurgia y a la producción cerámica (González Prats *et al.* 1999; González Prats 2011c: 87 y ss.).

Igualmente, las dos pesas cúbicas de Quinta do Almaraz, de unos 2,63 g y 6,38 g respectivamente, han sido puestas en relación por Vilaça (2011: 148) con este shekel ligero; la pequeña, como la de La Fonteta, correspondería a $\frac{1}{3}$ de shekel mientras la otra a la unidad, aunque las fluctuaciones de peso en el segundo caso son bastante elevadas y, por tanto, no es de excluir que se trate de dos sistemas ponderales distintos. Como ya se ha mencionado, la coexistencia y el uso de diferentes patrones de peso era bastante común en Oriente, y hasta dentro de una misma ciudad podían existir uno o más sistemas ponderales primarios y otros secundarios (Ascalone 2006: 174; Elayi y Elayi 1997: 319-323; Aubert 2002: 35). De hecho, es posible que tanto las pesas pequeñas de La Fonteta y del Cerro del Villar como la de la Quinta do Almaraz hagan referencia a otro sistema, basado en el patrón “persa” de 10,69 g. Así, la pesa del Cerro del Villar correspondería a $\frac{1}{2}$ shekel persa, y las de La Fonteta y de la Quinta do Almaraz (2,63 g) corresponderían a $\frac{1}{4}$ de shekel; también el peso del ponderal en

forma de bala podría estar relacionado con este patrón persa, teniendo un valor de 6 unidades.

En síntesis, por todo lo expuesto anteriormente, resulta evidente que la metrología fenicia y oriental en general son muy complejas y variadas, y que las unidades de peso empleadas en las ciudades fenicias en la primera mitad del I milenio a.C. –a diferencia de las de la Edad del Bronce– están todavía poco estudiadas (Aubet 2002: 34). De hecho, los datos actualmente disponibles son insuficientes para determinar con precisión qué tipo de sistema o de sistemas ponderales se estaban utilizando en el mundo fenicio colonial. Por tanto, en el caso de La Fonteta, con el estudio de sólo dos pesas, que además corresponden a valores muy distintos –y no disponiendo de las medidas y del peso de la tercera pesa encontrada en el yacimiento–, sería atrevido establecer una relación directa entre los valores de los distintos ponderales estudiados y encajarlos en un patrón de peso concreto.

10.3 LOS OBJETOS DE HIERRO

El conjunto de materiales metálicos seleccionados para su estudio incluye treinta y siete elementos de hierro. En general se trata de fragmentos de objetos cuya forma, tipología y función originales no siempre se han podido reconocer debido a su estado fragmentado y/o a su avanzada corrosión. De hecho, ninguno de estos objetos parece conservar restos del núcleo metálico, encontrándose completamente mineralizados.

Objetos de hierro han aparecido en la gran mayoría de los cortes excavados, con una especial concentración en los estratos de los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1.

Por lo que concierne a los objetos seleccionados, cinco han sido recogidos en el Corte 14 y pertenecen a la fase arcaica de La Fonteta (fase III); asimismo, entre los materiales del Corte 54-1, catorce han sido atribuidos al periodo arcaico del yacimiento (fases I-II). De los Cortes 5 y 5N se han seleccionado siete objetos de distinta cronología: dos son de FA (fases II-II) y los otros cinco de FR (fases V-VI). La mayoría de los objetos del Corte 7 se encuadra en el periodo arcaico y sólo uno de ellos se puede atribuir a la fase V, mientras que en el Corte 8 gran parte de los objetos seleccionados, cinco en total, se fechan en la fase reciente (VI) y sólo uno en la arcaica (II-III) (Tabla 10.22).

Por tanto, como para el resto de los materiales arqueometalúrgicos de La Fonteta, se ha registrado una mayor presencia de elementos de hierro durante el periodo arcaico del yacimiento, probablemente debido también al descubrimiento de los vertederos metalúrgicos de la fase II excavados principalmente en los Cortes 54-1 y 5N. Además, muchos de los materiales adscritos a FR proceden de depósitos formados por acumulaciones de detritus domésticos que presentan una estratigrafía revuelta y cuya cronología, por tanto, no es del todo fiable ya que no se puede excluir que pertenezcan a fases anteriores.

Pasando al análisis de las características morfológicas de los objetos seleccionados, se ha realizado una clasificación en tres grupos principales: elementos de forma alargada (tipo vástagos, varillas, etc.), herramientas o elementos relacionados con éstas (cuchillos, enmangues, etc.) y objetos macizos (objetos de forma nodular, cúbica, etc.). A éstos hay que añadir tres posibles asadores de hierro (*obeloi*) y una pieza amorfa compuesta por hierro con un contenido significativamente elevado de níquel, de los cuales se hablará más detalladamente en otros apartados.

N. Invent.	Objeto	Corte	Estrato	Fase
F12779	Barrita, sec. cuadrangular	14N/E	B9a	III
F12768	Objeto en forma de bellota	14N/C	B9a	III
F12778	Objeto en forma aprox. tronco-piramidal	14N/E	B9a	III
F12767	Recorte laminar curvo	14N/C	B9a	III
F12777	Vástago, sec. cuadrangular	14N/E	B9a	III
F41858	Anilla de sujeción	54N-1	B3c1	II
F41845	Barrita, sec. cuadrangular	54W/S-1	B6 arena	I
F55037	Barrita, sec. cuadrangular	54-1W/C	B2abc	II
F41853	Cuchillo	54N-1	B4b1	I
F41859	Elemento alargado	54N-1	B8	II
F41863	Elemento alargado	54N-1	B4b1	I
F41864	Elemento alargado	54N-1	B4b1	I
F41848	Enmangue o contera	54S-1	B3c	II
F41860	Herramienta con enmangue?	54N-1	B8	II
F41734-1	Objeto indeterminado (Fe-Ni)	54N-1	B11	II
F55035	Varilla, sec. circular	54-1W/C	B2abc	II
F55038	Varilla, sec. circular	54-1W/C	B2abc	II
F55041	Varilla fina, sec. circular	54-1W/C	B2abc	II
F41862	Vástago, sec. cuadrangular	54S-1	B1/B3	II
F31234	Barra con borde dentado	5N	A5	V
F31229	<i>Obelos</i> /asador	5N	A5	V
F31238	Objeto de función indeterminada	5N	A3	VI
F31251	Objeto de forma cubica	5N/S	B8de	II

N. Invent.	Objeto	Corte	Estrato	Fase
F31237	Enmangue o contera	5A/N	B11b	III
F31235	<i>Obelos</i> /asador	5A	A4a	VI
F31236	<i>Obelos</i> /asador	5A	A2b	VI
F12765	Barrita, sec. cuadrangular	7W	A5	V
F12759	Objeto de sec. triangular	7B	B11 base	III
F12775	Objeto de forma rectangular	7B	B1base	III
F12780	Objeto en forma de paralelepípedo	7C/E	B14	II
F12781	Objeto indeterminado	7C/E	B14	II
F12776	Resto metálico indeterminado	7B	B11base	III
F12772	Cuchillo?	8B/C	A3b	VI
F12766	Cuchillo con 2 remaches	8B/C	A3	VI
F12773	Enmangue	8B/C	A3b	VI
F12771	Vástago, sec. cuadrangular	8B/C	A3a	VI
F31250	Vástago, sec. cuadrangular	8B/C	B11 int.	II-III

Tabla 10.22. Listado de los objetos de hierro seleccionados de La Fonteta ordenados por corte, con su correspondiente procedencia estratigráfica y la atribución cronológica dentro de las distintas fases del yacimiento.

El primer grupo –el de los elementos de forma alargada– es el más numeroso, con un total de diecisiete piezas seleccionadas que presentan características, dimensiones y grosores distintos. En casi todos los casos están incompletas y se aprecia una mineralización global del metal, con gruesas capas de oxidaciones superficiales e incrustaciones terrosas que generalmente alteran su forma original, dificultando también identificar su morfología e interpretar su función. Cabe destacar que las medidas y el grosor de estos objetos corresponden a las que se han podido determinar en el estado actual de conservación de la pieza, pero rara vez corresponderán a las medidas originales, ya que el proceso de corrosión ha llevado a una severa deformación y a un engrosamiento del metal.

En este primer grupo se han identificado cuatro fragmentos de sección cuadrangular que se han definido genéricamente como vástagos. Dos de estas piezas conservan un extremo puntiagudo y podrían haber sido parte de punzones: la F31250 presenta escaso grosor, con una sección de aproximadamente 7,5x7,3 mm; el desarrollo del cuerpo es ligeramente curvo hacia la punta pero no se puede determinar si esta curvatura es debida a una deformación del metal por efecto de la corrosión o si corresponde a su forma original (Fig. 10.46a). El segundo posible fragmento de punzón, F12771, presenta un engrosamiento en un extremo y también en este caso su desarrollo es curvo, con un perfil aproximadamente triangular (Fig. 10.46b). Presenta una longitud de 57 mm y podría estar completo aunque, de nuevo debido a su mal estado de

conservación, no se puede determinar con seguridad si hay fracturas. La anchura en el extremo más grueso es de 14,5 mm y de 7,5 mm en la punta; el grosor varía entre 13 y 9 mm.



Fig. 10.46. Varillas de sección cuadrangular (punzones?) procedentes de La Fonteta: a) F31250; b) F12771.

Los otros dos fragmentos, F41862 y F12777, presentan un leve estrechamiento hacia un extremo que podría corresponder a la zona de la punta, confirmando que también en estos casos podría tratarse de alguna herramienta tipo punzón. F41862 tiene un grosor menor respecto a los otros fragmentos similares; su sección en las zonas finas (los dos extremos) es de 4x4 mm y presenta un engrosamiento central de 6,2x8,5 mm (Fig. 10.47a). Uno de los extremos podría estar completo y, si lo estuviera, presentaría una terminación de tendencia globular; el abultamiento que se aprecia en correspondencia del engrosamiento central se ha formado por una concreción.

El fragmento F12777 presenta una ligera curvatura hacia el extremo más fino donde estaría la punta, y la sección mide aproximadamente 13x10-12 mm (Fig. 10.47b). Se aprecia una clara fractura en ambos extremos y por la relación con el grosor de la pieza, que actualmente tiene 70 mm de longitud, se puede suponer que su tamaño original fuera mayor.

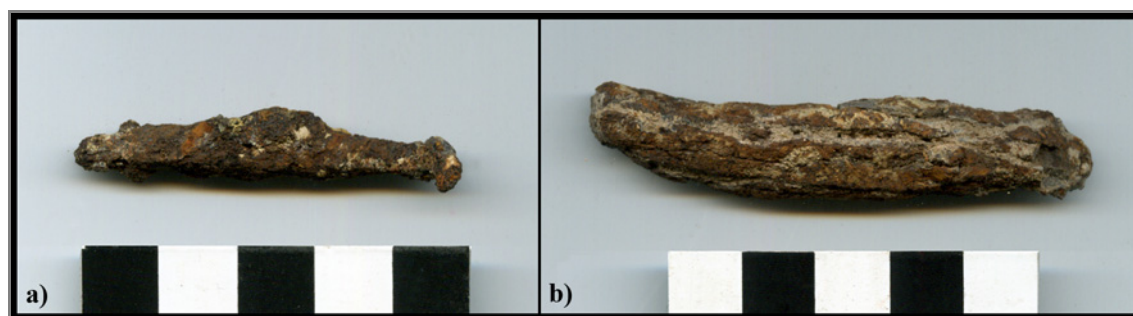


Fig. 10.47. Fragmentos de varillas de sección cuadrangular procedentes de La Fonteta: a) F41862; b) F12777.

Otros tres de los fragmentos de forma alargada seleccionados presentan características similares entre ellos, sugiriendo que podría tratarse de piezas análogas o, por lo menos en dos de los casos podría haber pertenecido al mismo objeto. Están incompletos y no hay elementos suficientes para poder avanzar hipótesis sobre su posible uso, podría tratarse de algún tipo de herramienta de incierta función.



Fig. 10.48. Fragmento F41863 procedente de La Fonteta.

El mejor conservado de los tres fragmentos es F41863, presenta una longitud de 96 mm y distinta anchura a lo largo del cuerpo; la anchura máxima es de 16,6 mm y la mínima de 13,3 mm, mientras el grosor varía entre

aproximadamente 11 y 12,5 mm (Fig. 10.48). El desarrollo del cuerpo tiene una sección de tendencia triangular con una base plana y el perfil se va estrechando. En un extremo se observa la presencia de parte de un pedúnculo de sección cuadrangular (de 7,3x8,8 mm de tamaño) que podría corresponder a la zona a introducir en el mango.

La segunda pieza, F41864, está muy corroída y fragmentada. La longitud conservada es de 49 mm y la anchura de 15 mm; tiene un grosor de aproximadamente 12,5 mm en la zona mejor preservada (Fig. 10.49a). Como en el caso anterior, la sección es de tendencia triangular con una base plana. Podría constituir otro fragmento de la pieza anteriormente descrita, F41863, aunque su mal estado de conservación no permite comprobar si hay una correspondencia entre la fractura de los dos fragmentos.

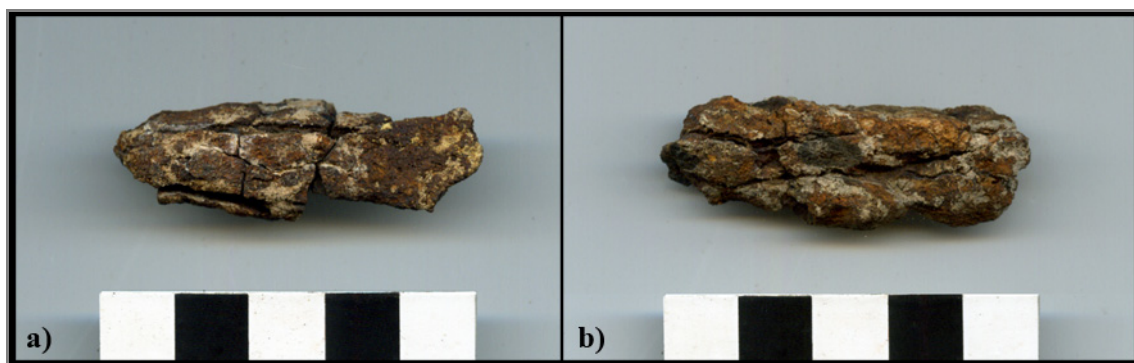


Fig. 10.49. Varillas de sección cuadrangular (punzones?) procedentes de La Fonteta: a) F41864; b) F41859.

El último de estos tres elementos, F41859, tiene una longitud de 50 mm y una anchura de unos 15 mm; el grosor está alrededor de 11 mm. De nuevo la sección es de tendencia triangular con la base plana (Fig. 10.49b).



Fig. 10.50. Varilla fina F55041 procedente de La Fonteta.

2,2 mm (Fig. 10.50); presenta un desarrollo recto y no se conserva ningún extremo completo pero, por su tamaño y características morfométricas, podría tratarse de un resto de aguja.

Del fragmento F55035 sólo se puede decir que es ligeramente curvo, con un diámetro de sección de aproximadamente 6 mm, y que presenta un desarrollo recto (Fig. 10.51a). El tercer fragmento, F55038, también es curvo y tiene un perfil irregular, ligeramente en S, con un leve ensanchamiento en tres puntos (Fig. 10.51b). En la zona de los engrosamientos el diámetro es de 8-8,5 mm y de unos 6 mm en las zonas más finas. Aunque su mal estado de conservación no permita avanzar hipótesis concluyentes, se podría sugerir que este fragmento sea parte del puente de una fíbula. Además, si esta interpretación fuera correcta, sería tentador interpretar también el fragmento de aguja F55041 como posible parte de una fíbula, pero esta hipótesis no puede ser confirmada con los datos actualmente disponibles.

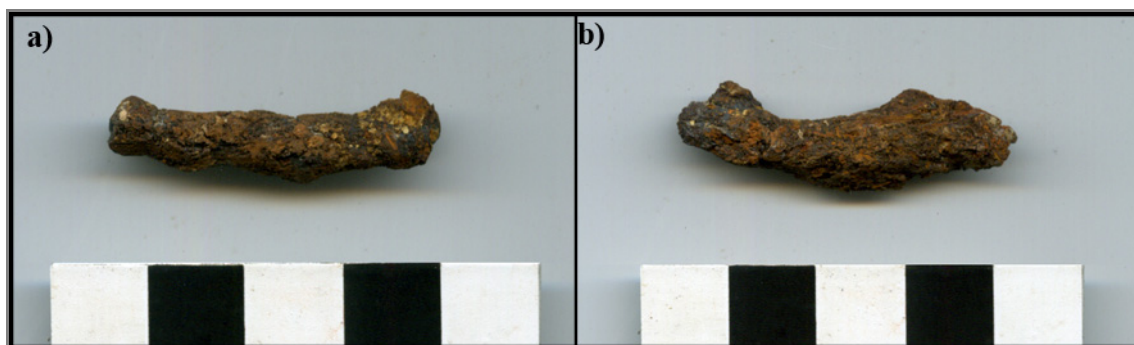


Fig. 10.51. Varillas curvas de sección circular procedentes de La Fonteta: a) F55035; b) F55038.

Finalmente, en este grupo se incluirían también los tres ejemplares casi completos de *obeloi* o asadores, de los cuales se hablará más detenidamente en el siguiente apartado. Sin embargo, se han documentado otros cuatro fragmentos de características análogas que también podrían haber sido parte de asadores. Se trata de unas finas varillas de sección cuadrangular que presentan medidas similares:

- F12765. No presenta ningún extremo conservado. La sección es de aproximadamente 7,5x5,7 mm y la longitud conservada es de 64 mm (Fig. 10.52a);
- F12779. Presenta un extremo conservado que corresponde simplemente al cierre del cuerpo de la pieza, no estando diferenciado del resto del vástago. Su sección mide unos 7x6 mm y tiene 44 mm de longitud (Fig. 10.52b);
- F41845. Se aprecia una posible terminación en punta y no se conserva el otro extremo. Tiene perfil triangular hacia el extremo puntiagudo y una sección de 6,5x6 mm; la longitud conservada es de 55 mm (Fig. 10.52c);
- F55037. Presenta sólo un extremo conservado y en uno de sus lados se observa un engrosamiento del metal que podría corresponder a un apéndice. La sección es de aproximadamente 7,7x8,3 mm en el extremo fino y 10x10 mm en el extremo más grueso; tiene 50 mm de longitud conservada. Presenta un avanzado estado de oxidación (Fig. 10.52d).



Fig. 10.52. Varillas de sección cuadrangular procedentes de La Fonteta: a) F12765; b) F12779; c) F41845; d) F55037.

En los cuatro casos el desarrollo del cuerpo es recto, a excepción del estrechamiento observado hacia la punta en el caso de la pieza F41845 y del posible apéndice hacia el extremo conservado de F55037. Posiblemente, este engrosamiento del metal se haya producido por el proceso de oxidación sufrido por la pieza –siendo ésta la peor conservada de las barritas estudiadas–, ya que la otra pieza (F12779) que también conserva un extremo (sin punta) no presenta diferenciación alguna a lo largo del vástago; sin embargo, si aceptamos que estos fragmentos correspondan a restos de asadores, no se puede excluir que se trate de una especie de arponcillo o algún otro elemento similar que habría facilitado la inserción del espetón en un morillo.

Los elementos para poder interpretar correctamente la función de estos fragmentos son escasos, además su reducido tamaño y su avanzado estado de corrosión no permiten afirmar con seguridad que se trata de asadores. Sin embargo, la terminación en punta del ejemplar F41845 junto con la comparación de estos objetos con piezas similares encontradas en otros contextos, principalmente de origen griego (Haarer 2001) –cuyas morfologías y tamaños, como se verá más adelante, pueden ser muy variados–, sí apoyarían esta interpretación.

El segundo grupo está constituido por los que se han definido como objetos macizos, refiriéndonos con esta definición a una serie de piezas que corresponden a masas sólidas de hierro y que, en la mayoría de los casos, tienen formas geométricas. Se trata de ocho objetos de distintas características y tamaños, cuya función no ha podido ser determinada por su profunda oxidación y/o por falta de claros paralelos tipológicos.

F12780 corresponde a un objeto en forma de paralelepípedo de 43x27,5 mm de tamaño y 48 g de peso (Fig. 10.53a). Está muy corroído y se ha producido una deformación de la masa metálica original que ha llevado a una laminación de la pieza sobre todo en la zona de los bordes, confiriéndole un aspecto de “carrete”. Se ha considerado la posibilidad de que se trate de un ponderal pero no se conocen ponderales en hierro para la época objeto de este estudio, aunque sí son comunes ejemplares de morfología similar fabricados en plomo o bronce (Elayi y Elayi 1997; Planas y Martín 1992). La misma interpretación podría darse a la pieza F31251, de forma cubica; mide aproximadamente 21,5x22,5 mm y pesa 24 g (Fig. 10.53b).

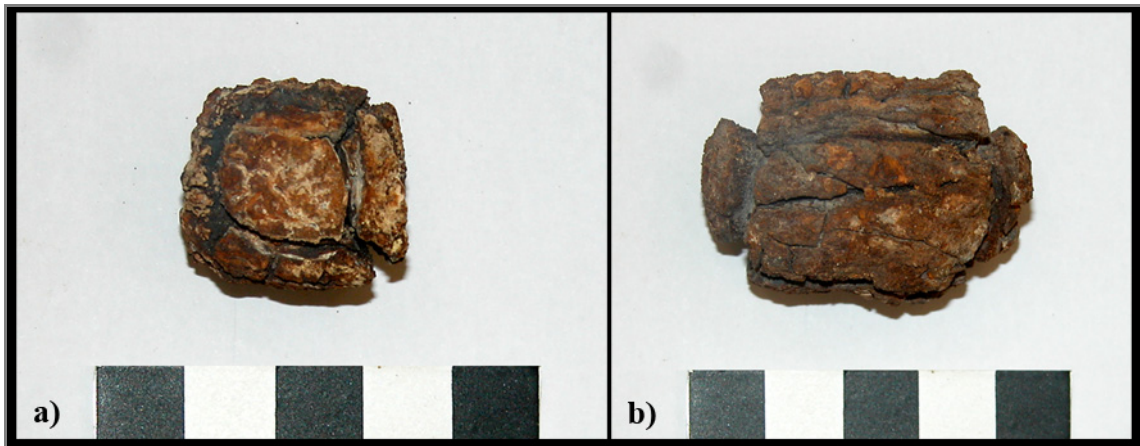


Fig. 10.53. Posibles ponderales procedentes de La Fonteta: a) F12780; b) F31251.

Asimismo, otras tres piezas incluidas en este grupo podrían interpretarse como posibles ponderales pero, de nuevo, la falta de objetos similares en hierro no permite atribuirle con seguridad esta función. Uno corresponde a un objeto de forma aproximadamente tronco-piramidal (F12778) y perfil levemente triangular (Fig. 10.54a); tiene 26 mm de longitud y 15 mm de altura, con un lado de 14 mm y el lado opuesto de 12 mm; pesa 17 g. Se conocen varios ponderales con este tipo de morfología pero ninguno fabricado en hierro.

La otra pieza (F12768) tiene forma de “bellota”; mide 30,5x11 mm y pesa 6 g (Fig. 10.54b). De nuevo, se trata de una tipología conocida para los ponderales aunque se han documentado sólo manufacturados en otros metales; su forma se aproxima también a los proyectiles utilizados para las hondas, aunque por el momento se conocen fabricados solamente en plomo, piedra, arcilla o hueso (Planas y Madrid 1994).

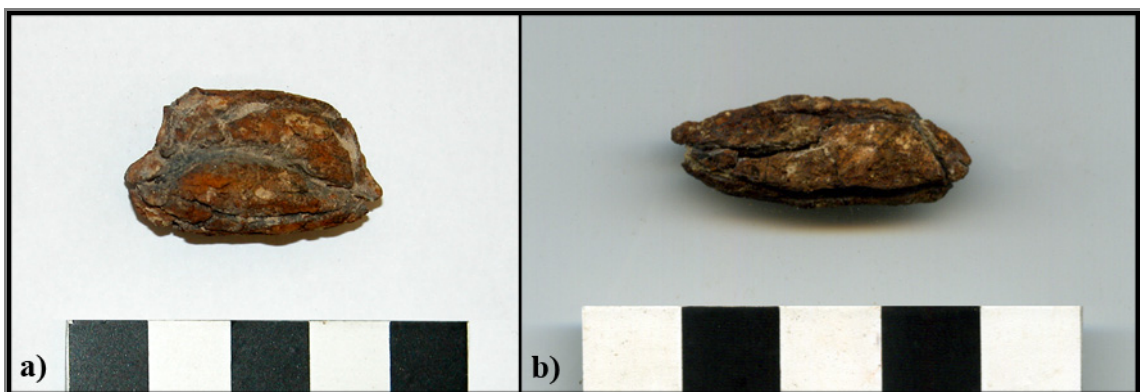


Fig. 10.54. Posibles ponderales procedentes de La Fonteta: a) F12778; b) F12768.



Fig. 10.55. Posible ponderal (F12775) procedente de La Fonteta.

El tercer posible ponderal (F12775) corresponde a un objeto de forma rectangular de 9x25,5 mm de tamaño y 11 mm de grosor aproximado; pesa 19 g. Está muy oxidado y debido a la fuerte oxidación del metal, ha saltado una capa en una de las caras, dejando un rehundimiento central (Fig. 10.55).

Para el resto de las piezas estudiadas no se ha podido avanzar ninguna hipótesis acerca de su función. F12759 tiene una forma irregular con una cara plana y presenta un engrosamiento en uno de los lados largos; el lado opuesto es aplanado y la sección es de tendencia irregularmente triangular (Fig. 10.56a). Hay un resto de fundición globular de base cobre adherido al lado “engrosado”. La pieza tiene un grosor de alrededor de 10,5 mm en la zona del engrosamiento y de 5 mm en la zona más fina; mide 29x18,5 mm de tamaño con aproximadamente 13 g de peso.

F12776 corresponde a un resto metálico indeterminado. Presenta una cara cóncava y otra convexa, tiene un perfil ligeramente triangular (Fig. 10.56b). Mide 41,8x30 mm de tamaño, 18 mm de grosor y pesa 40 g. No parece ser un objeto acabado sino un producto semirrefinado; se ha supuesto que podría tratarse de una pequeña lupia pero la fuerte oxidación del metal impide llevar a cabo un estudio analítico exhaustivo de la pieza.

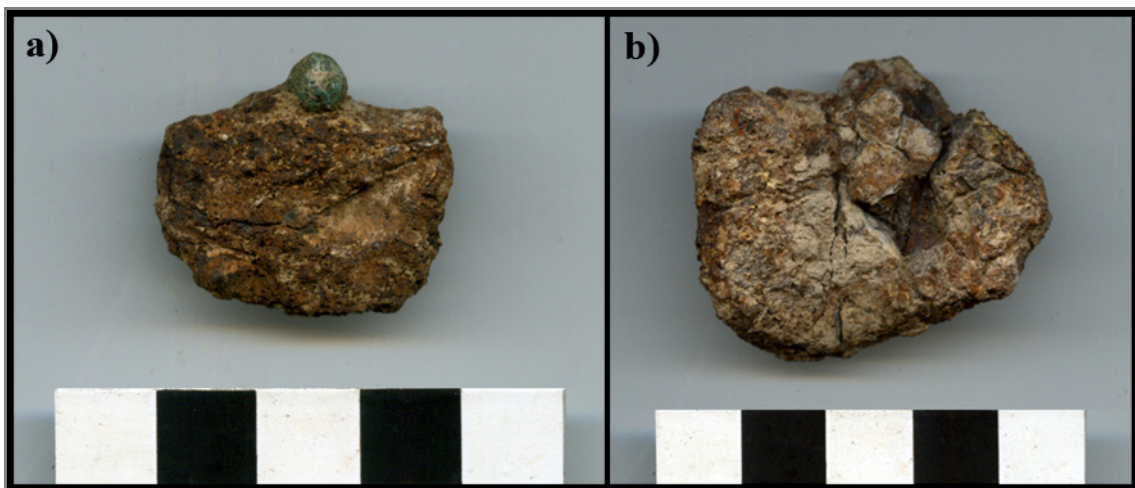


Fig. 10.56. Objetos indeterminados procedentes de La Fonteta: a) F12759; b) F12776.



Fig. 10.57. Objeto indeterminado (F12781) procedente de La Fonteta.

Lo mismo podría decirse del resto metálico F12781. Está completamente corroído y fracturado, no se puede determinar su forma original y, por tanto, si corresponde a una pieza acabada (Fig. 10.57). Su forma parece ser de tendencia esférica con una “base” recta de unos 25 mm de anchura; tiene aproximadamente 28 mm de altura y 31 mm de anchura máxima y 44 g de peso.

En este segundo grupo habría que incluir también el objeto de hierro-níquel ya mencionado anteriormente (F41734-2) pero, por la peculiaridad de su composición, de este se hablará más adelante, en un apartado específico.

El último grupo establecido incluye herramientas de distinto tipo y elementos que posiblemente estén relacionados con estos utensilios. Se han seleccionado ocho piezas que podrían incluirse en esta categoría; se trata de tres fragmentos de cuchillos, una barra dentada, un objeto muy corroído que parece conservar restos de un empuñadura, un elemento de forma tubular que también podría corresponder a un empuñadura y dos posibles conteras.

De los tres fragmentos de cuchillos seleccionados, el mejor conservado (F12766) presenta dos remaches de hierro en la zona del mango (Fig. 10.58). Sólo uno de ellos está completo, tiene la cabeza de forma triangular –de 8,5x9 mm de tamaño– y el vástago de sección circular. El cuchillo está incompleto y su longitud actual es de 106 mm; la anchura de la hoja es de aproximadamente 16 mm llegando a 19 mm en el extremo del empuñadura; el grosor de la hoja es de unos 4 mm. La zona del mango, de acuerdo con la huella que todavía se aprecia en el metal, mide 35 mm y el extremo inferior no parece fracturado, por tanto debería corresponder a la terminación original. La hoja conservada mediría pues unos 70 mm; el desarrollo del cuerpo es ligeramente triangular, con respecto a la base y, a pesar del avanzado estado de corrosión del metal, todavía se aprecia la zona del filo.



Fig. 10.58. Cuchillo con remaches (F12766) procedente de La Fonteta.

El segundo fragmento (F12772), de tamaño reducido, corresponde a parte de la hoja de un cuchillo (Fig. 10.59a). Tiene 50 mm de longitud conservada y se aprecia un ensanchamiento en uno de los extremos, con un desarrollo del cuerpo aproximadamente triangular. Su anchura es de 16 mm en la zona más estrecha y de unos 20 mm en la base; presenta un grosor de unos 3-4 mm. Como en el caso anterior, todavía se pueden apreciar restos del filo; además, en la zona de mayor anchura se observa un color distinto del metal que, junto con la presencia de algunas incrustaciones superficiales en las que se observan huellas de materia vegetal, hacen suponer que corresponda a parte de la zona de enmangue. Pues, tanto las características morfológicas como las medidas de este fragmento son muy similares a las del cuchillo arriba descrito, sugiriendo que se trate de una tipología análoga, aunque la gruesa capa de concreciones que se observa en la zona más ancha de la pieza no permite determinar si también estaba dotada de remaches.

El último fragmento de cuchillo estudiado (F41853) corresponde a una lámina fina y presenta una ligera curvatura (Fig. 10.59b); mide 54 mm de longitud, 23 mm de anchura y tiene un grosor de 3 mm.

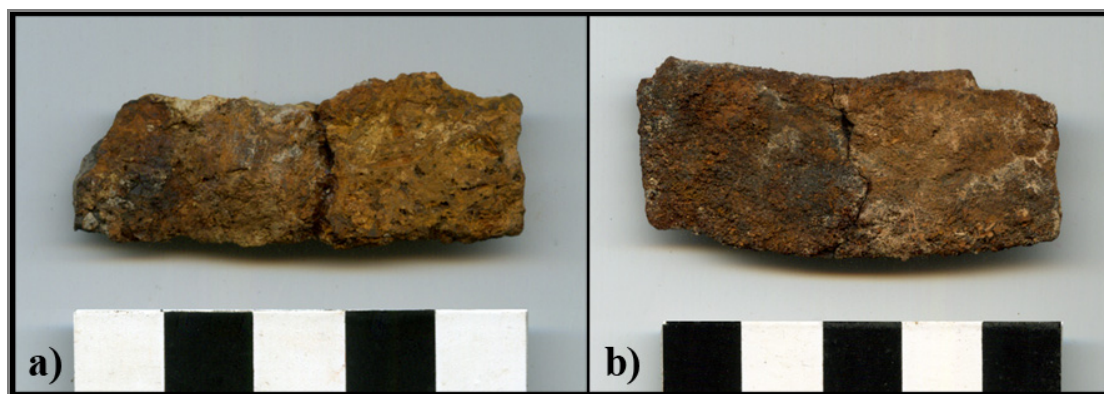


Fig. 10.59. Fragmentos de cuchillo procedentes de La Fonteta: a) F12772; b) F41853.

Podría ser parte de un cuchillo de hoja curva o afalcado, una tipología que suele asociarse a la presencia fenicia (Mancebo Dávalos 2000: 1829) y que está abundantemente documentada en La Fonteta (González Prats 2010: 49-55), así como en otros yacimientos fenicios contemporáneos, como en el Morro de Mezquitilla (Algarrobo, Málaga) (Mansel 2000: fig. 6), en el Castillo de Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz) (Ruiz Mata y Pérez 1995: 118) o en el Cerro del Castillo en Chiclana (Cádiz) (Bueno y Cerpa 2008: 200); en este último yacimiento, los fragmentos hallados –aunque sean de dimensiones mayores, lo que permite una más fácil identificación de la tipología–, presentan un anchura de hoja de 25 mm, similar a la del fragmento encontrado en La Fonteta. Sin embargo, el escaso grosor de la lámina de nuestra pieza junto con el hecho de que la sección es recta y no de tendencia triangular o romboidal –una característica típica de las hojas con filo– podrían apuntar a una interpretación alternativa para esta pieza, aunque no se puede excluir que el estado de conservación de la pieza no permita apreciar la eventual presencia de un filo. Tampoco se conocen el grosor y las características de las hojas de los otros cuchillos afalcados documentados tanto en La Fonteta como en otros yacimientos fenicios y por tanto no es posible realizar una contrastación de los datos; de todos modos, con respecto a los otros fragmentos de este tipo encontrados en La Fonteta, es significativo destacar que sus dimensiones varían entre 120-134 mm de longitud y 14-23 mm de anchura, unas medidas que son compatibles con las de los tres fragmentos aquí estudiados (González Prats 2010: 51). Así pues, comparando los datos disponibles, se observa como los ejemplares más completos presentan una curvatura marcada solamente en la zona de la hoja más próxima al extremo superior, y no se puede excluir la posibilidad de que también los fragmentos F12766 y F12772 correspondan a restos de cuchillos afalcados.

La barra con borde dentado F31234 (Fig. 10.60) podría corresponder a parte de una posible hoja de sierra, sin excluir que se trate de un raspador, de acuerdo con la interpretación que propone Vilaça (2006: 95) para piezas similares procedentes de Portugal. Su longitud conservada es de 75 mm y la anchura, incluyendo los dientes, es de 16 mm (12,5 mm sin incluir los dientes). Su grosor es de unos 9 mm, aunque la avanzada corrosión del metal, que ha llevado a una total deformación de la sección de la pieza, no permite determinar el espesor original y tampoco se puede apreciar si había un filo en la zona de los dientes.



Fig. 10.60. Barra con borde dentado (F31234) procedente de La Fonteta.

La pieza F41860 podría corresponder a algún tipo de herramienta ya que parece conservar restos de un empuñamiento (Fig. 10.61). Tiene una forma ligeramente cónica y está fracturada en los dos extremos; uno de ellos presenta un ensanchamiento y una sección irregularmente circular de unos 8 mm de diámetro, mientras que el extremo opuesto tiene una sección aplanada de 5,5x8,5 mm. La longitud conservada es de 60 mm y en la parte central se observa un abultamiento que podría haberse producido por la acumulación de óxidos y concreciones. Sin embargo, en algunos puntos de este abultamiento se aprecian huellas de materia vegetal que podrían corresponder a los restos de la madera del empuñamiento. Cuando se encontró la pieza, estas concreciones cubrían gran parte del fragmento, llegando hasta el extremo inferior de sección plana; se procedió a remover parte de estas concreciones con el fin de poder determinar más claramente la morfología del objeto en cuestión. Por tanto, al haberse identificado restos de madera, se podría suponer que la zona aplanada del vástago correspondiera a la que se insertaba en el mango; de hecho, la sección se vuelve circular justo donde termina la posible zona de empuñamiento. Además, esta pequeña herramienta parece estar hueca en ambos extremos aunque la corrosión del metal no permite determinarlo con seguridad.



Fig. 10.61. Fragmento de una posible herramienta (F41860) procedente de La Fonteta.

Finalmente, se han identificado tres piezas que podrían ser elementos de enmangue o conteras. La primera (F12773) es la mejor conservada y está casi completa (Fig. 10.62). Se trata de un elemento tubular de forma ligeramente cónica, de 77 mm de longitud con un diámetro de 17,5 mm en la parte estrecha y de 21,5 mm en la zona más ancha.



Fig. 10.62. Elemento tubular (F12773) procedente de La Fonteta.

Los otros dos objetos son elementos cónicos, terminados en punta y con el extremo opuesto abierto presentando una escotadura en V y, de acuerdo con estas características, se ha supuesto que podría tratarse de conteras más que de enmangues.

F31237 también está casi completo y mide 55 mm de longitud (Fig. 10.63a). El extremo abierto tiene un diámetro de aproximadamente 16 mm y la punta, que es maciza, de unos 6 mm. En uno de los lados del extremo escotado se aprecia un pequeño apéndice de sección semicircular que posiblemente tendría su correspondiente en el lado opuesto pero, debido a la oxidación de la pieza, no se puede determinar si la zona presenta una fractura o si estaba dotado sólo de un apéndice.

La otra posible contera (F41848) es notablemente más pequeña que la anteriormente descrita (Fig. 10.63b). Como F31237, presenta un extremo abierto con escotadura en V pero no se aprecia la presencia de apéndices laterales; está incompleta, habiéndose roto en la zona de la punta que es maciza. La longitud conservada es de 29 mm y el diámetro de 5 mm en la zona cerrada y de aproximadamente 6 mm en el extremo abierto.

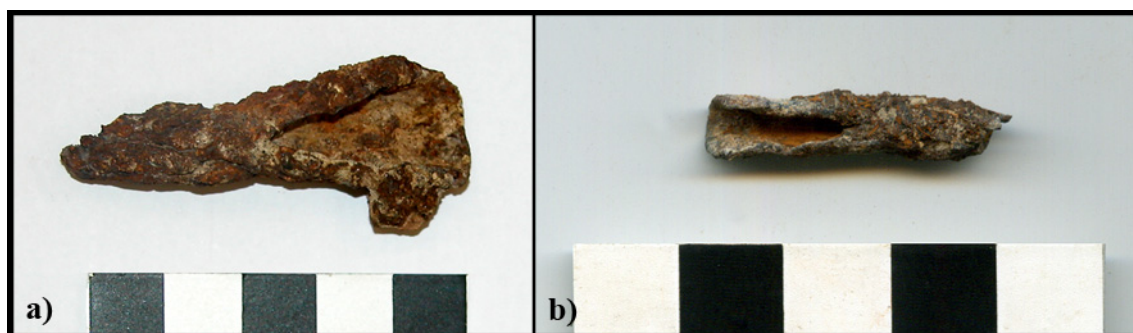


Fig. 10.63. Posibles conteras procedentes de La Fonteta: a) F31237; b) F41848.

A estos tres grupos de objetos, hay que añadir otras tres piezas que no se han podido enmarcar claramente en ninguna de las categorías anteriores descritas.

La primera, F31238, es una plancha de hierro de perfil alargado con terminación ligeramente apuntada en un extremo y el lado opuesto curvo; en este último se observa el arranque de un vástago formando un ángulo de aproximadamente 90° con el cuerpo de la pieza (Fig. 10.64). Hay una perforación ovalada en la zona de la plancha más próxima al lado curvo y, a pesar de la fuerte oxidación del metal, no parece apreciarse un filo. Su longitud es de 100 mm y la anchura, en la zona que presenta parte del vástago, es de 46 mm y en la otra de unos 31 mm. El grosor de la plancha está alrededor de 6 mm. No se ha podido determinar su función y no se han encontrado posibles paralelos para esta pieza; podría ser parte de algún tipo de herramienta, aunque no parece tratarse de una herramienta de corte.



Fig. 10.64. Objeto indeterminado (F31238) procedente de La Fonteta.

La segunda pieza es una anilla (F41858) que conserva el arranque de una protuberancia perpendicular y que podría corresponder a parte de algún elemento de enganche (Fig. 10.65a). Tiene un diámetro externo de 23 mm y el interno de 8,3 mm aproximadamente; el grosor es irregular y varía entre 11,7 y 13 mm. La anchura de la anilla, incluyendo el elemento perpendicular, es de unos 28 mm.

El último fragmento (F12767) corresponde a un recorte laminar tipo cinta que presenta una marcada curvatura central (Fig. 10.65b). La longitud conservada es de 24 mm y la anchura de 16 mm; tiene unos 2,5 mm de grosor. No hay elementos suficientes para determinar su posible función.

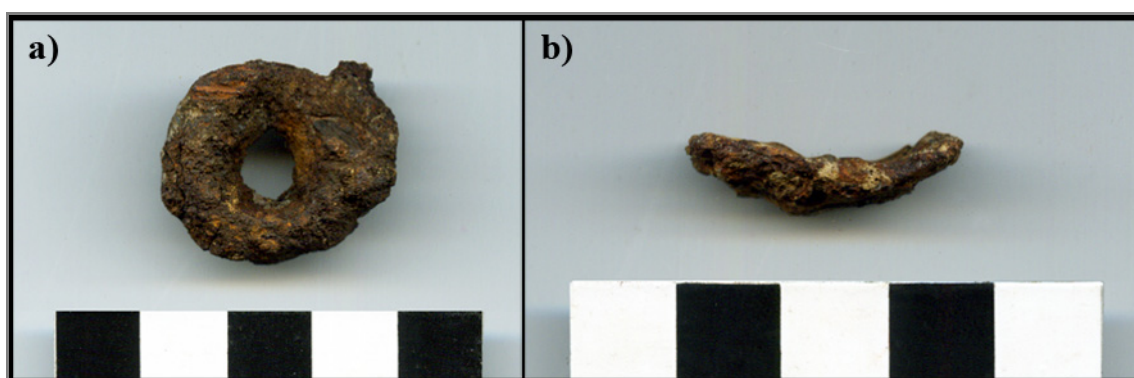


Fig. 10.65. a) Anilla F41858 y b) fragmento de cinta F12767 procedentes de La Fonteta.

El estudio de este conjunto de materiales, aunque no destaque ni por tipología ni por estado de conservación, cobra una especial importancia si se considera que para las primeras fases de aparición del hierro en la Península Ibérica la documentación sobre artefactos fabricados en este metal es todavía poco abundante. Como ya se ha mencionado en el capítulo de las escorias férricas, el hierro se empieza a producir a principios del siglo VIII a.C. (probablemente ya a finales del siglo IX a.C.) en varios centros fenicios y en algunos poblados indígenas en los que se han detectado evidencias de contactos con los colonos pero, aunque el uso de este metal parece ser relativamente común en estos yacimientos, sigue siendo un fenómeno geográficamente aislado. Es solamente en época más tardía, principalmente a partir de la II Edad del Hierro, cuando la producción se incrementa y el uso del hierro se generaliza en toda la Península.

El exiguuo registro de objetos de hierro para las fases tempranas de la introducción de este nuevo metal no ha favorecido el desarrollo de trabajos especializados. Esta escasez de estudios dedicados a los materiales férricos depende también de la misma naturaleza del metal, es decir, de la poca resistencia del hierro a la oxidación. El estado

de conservación de los objetos encontrados en los yacimientos arqueológicos a menudo es muy precario; la corrosión y las concreciones superficiales acaban deformando las piezas y, en muchos casos, no se consigue ni reconocer su forma original sin recurrir a unas buenas limpieza y restauración. Además, como se ha podido comprobar en el caso de La Fonteta, los objetos suelen estar incompletos y/o fracturados, todos factores que, junto con su avanzada oxidación, dificultan tanto la clasificación como la interpretación de la función y uso originales del objeto.

La frecuente y generalizada corrosión de estas piezas tampoco ha permitido que se realizasen estudios arqueométricos exhaustivos. De hecho, las técnicas analíticas normalmente empleadas para el estudio de artefactos férricos son la metalografía y los test de microdureza, unas técnicas que no pueden ser empleadas en el caso de que no haya zonas metálicas residuales en las que se pueda observar la microestructura de la pieza, la eventual aplicación de tratamientos térmicos y/o mecánicos o medir la dureza del metal.

En el estado actual de la investigación, la mayoría de los estudios realizados sobre objetos de hierro están dedicados a las distintas tipologías de armas y armamentos procedentes principalmente de contextos funerarios, debido también a que normalmente en los enterramientos el metal se encuentra mejor conservado. Además, gran parte de estos estudios se centran en materiales más tardíos de los que aquí se estudian, ya que se trata sobre todo de materiales de época ibérica (siglos VI-I a.C.).

M. Almagro Gorbea (1993) y R. Vilaça (2006) recogen respectivamente los hallazgos más antiguos realizados en España y en Portugal, pero en estos trabajos no se publica ninguna pieza que presente una clara similitud con la tipología de las de La Fonteta, con la excepción de algunos fragmentos de láminas con bordes dentados (posibles sierras y/o raspadores) –uno procedente de Moreirinha (Idanha-a-Nova, Portugal) y cuatro de Monte do Trigo (Idanha-a-Nova, Portugal)– y varios fragmentos laminares, en algunos casos curvos y con remaches, que podrían constituir restos de cuchillos (Vilaça 2006).

Otros estudios dedicados a objetos de hierro han sido llevados a cabo en la zona septentrional de la Península Ibérica –sobre todo en Asturias, Galicia o Cataluña– y se ha documentado que tanto en Galicia (Peña Santos 1988) como en Asturias (Fanjul y Marón 2006), la aparición de los primeros artefactos en este metal se remonta al siglo

VII a.C., mientras que en Cataluña (Rovira Hortalà 2008) es ligeramente anterior, pudiéndose datar a finales del siglo VIII a.C.

En Galicia gran parte de estos objetos de hierro proceden de yacimientos de la provincia de Pontevedra pero suele tratarse de restos muy oxidados cuya tipología no ha podido ser identificada, con la excepción de una única pieza que se ha interpretado como fragmento de podón u hoz (Peña Santos 1988: 252-253). En Asturias, se han documentado principalmente herramientas (hachas, hoces, martillos, etc.) y elementos relacionados con el mundo masculino (puñales, puntas de lanza, conteras, fíbulas, etc.) (Fanjul y Marón 2006: 124), pero tampoco en estas regiones se han identificado claros paralelos para nuestras piezas.

Por lo que concierne a Cataluña, la situación es distinta y los estudios realizados son más numerosos y exhaustivos. Se trata de trabajos dedicados principalmente a la caracterización de objetos ornamentales (anillas, cadenas, fíbulas, etc.) y de uso práctico (agujas, cuchillos, etc.) recogidos mayoritariamente en contextos funerarios y sólo esporádicamente en contextos habitacionales (Rovira Hortalà 2008: 459). Algunos de estos artefactos presentan cierto parecido tipológico con piezas de La Fonteta. Este es el caso de los cuchillos que también tienen mango con remaches y hoja estrecha. Varios de los ejemplares catalanes más completos presentan una punta diferenciada que los aproxima al tipo Grand Bassin I, sin embargo para los fragmentos de La Fonteta no se puede sugerir ningún paralelo claro ya que no se conserva la parte terminal de la hoja.

Estos primeros cuchillos encontrados en Cataluña han sido objeto de un estudio arqueométrico y, de acuerdo con los resultados de las metalografías, se elaboraban utilizando una lámina de hierro que se plegaba sobre sí misma para ser luego sometida a procesos mecánicos y de autosoldadura (Rovira Hortalà 2008: 466). Su microestructura suele ser poco homogénea y el contenido de carbono muy variable, a veces también dentro del mismo objeto, por tanto las hojas pueden ser de hierro dulce (hierro ferrítico), de acero suave con contenidos medio-bajos de carbono (alrededor de 0,7% C), o de una mezcla de las dos composiciones (Rovira Llorens 2000: 216; Rovira Hortalà 2007: 172).

Es probable que la situación para las piezas aquí estudiadas de La Fonteta sea similar, sobre todo por lo que concierne a la técnica de elaboración de los cuchillos. De hecho, la tendencia de la hoja a laminarse hace suponer el uso de láminas de metal para su manufactura así como la aplicación de tratamientos mecánicos posteriores no sólo en la zona del filo –aunque allí probablemente serían más intensos–, sino en todo el

desarrollo del cuerpo. Éste, por ejemplo, es el caso del cuchillo procedente de la necrópolis de El Pla de la Bruguera (Montero Ruiz *et al.* 1998, Rovira Hortalà 2007: 172) al que fue aplicado un tratamiento de temple para endurecerlo y que actualmente constituye el único ejemplar en el que se ha podido observar este tipo de tratamiento.

Con respecto a los elementos de adorno personal, las fibulas documentadas en Cataluña son del tipo serpentiforme y de resorte bilateral (Rovira Hortalà 2007: 168). El fragmento encontrado en La Fonteta es demasiado pequeño para poder determinar a qué tipología corresponde, pero es probable que su técnica de fabricación fuera la misma que se empleó para sus paralelos septentrionales. Estos objetos se elaboraban utilizando vástagos de sección circular con grosores relativamente escasos, en general de menos de 10 mm, para darles forma mediante torsión, doblado o aplastamiento según las características de las piezas (Rovira Hortalà 2008: 466).

En Cataluña se han documentado también algunos hallazgos de asadores en hierro de los cuales se hablará más detalladamente en el siguiente apartado.

10.3.1 Los *obeloi* o asadores

Aparte de los cuatro fragmentos de “barritas” que podrían haber pertenecido originariamente a asadores y ya mencionados anteriormente, en La Fonteta se han identificado otros tres posibles *obeloi* o asadores de hierro.

Estos asadores presentan dimensiones, grosores y peso diferentes. El de mayor tamaño y mejor conservado, con número de inventario F31229, procede del Corte 5N cuya área fue utilizada como vertedero en la primera mitad del siglo VI a.C. La retirada del depósito de vertidos puso en evidencia una estructura de adobes muy sólida con una anchura media que resultó ser el triple de la que se había constatado para otras estructuras del mismo tipo, superando 1,30 m de espesor y presentando tres hileras de adobes en lugar de una. El estrato A5 en el que se encontró el asador constituye el relleno correspondiente a uno de los momentos de uso de esta construcción; F31229 fue encontrado asociado a varias ánforas A1 –una de ellas entera pero completamente destrozada–, a un plato de barniz rojo y a restos de tejido teñido de rojo oscuro, posiblemente lino. En la base de este estrato de relleno, a ras de la primera hilada del zócalo de mampostería de la estructura, se identificó un hogar de barro.

La robustez y la altura de las paredes, que conservan más de un metro de altura, sorprenden si se considera que delimitan un espacio reducido, por tanto los excavadores supusieron que esta estructura presentaría más de una planta, de acuerdo además con las

huellas de una posible escalera interna construida con peldaños de adobe. En este caso, el depósito de vertidos hallado sobre el suelo original en el que se encontró el asador, podría haberse formado por el derrumbe del piso superior. Y, considerando que es adyacente al bastión sureste del lienzo defensivo, es posible que se trate de una torre interna para la vigilancia o desde la que se podría acceder al bastión. La presencia de un asador en una estructura de este tipo estaría por tanto vinculada a una función probablemente doméstica, como parece sugerir también la asociación con material de uso cotidiano y la identificación de un hogar en el que tuvo que ser la planta baja de la torre (González Prats y Ruiz Segura 1998).

El asador F31229 ha sido adscrito a la fase V del yacimiento (FR, finales del siglo VII-comienzos del siglo VI a.C.), mide aproximadamente 700 mm y pesa 243 g. La pieza se encontró fragmentada pero se ha podido reconstruir casi enteramente, faltando sólo la parte terminal del extremo fino que correspondería a la punta (Fig. 10.66). El otro extremo, es decir la empuñadura, parece estar completo aunque la fuerte oxidación que ha sufrido la pieza ha producido una deformación del metal; su longitud total sería pues algo mayor de los 700 mm conservados. De acuerdo con los paralelos tipológicos conocidos y según la proporción de sus medidas, se ha supuesto que en origen este asador podría haber medido alrededor de 750 mm.



Fig. 10.66. Asador F31229 procedente de La Fonteta.

La pieza está completamente mineralizada y presenta abundantes contaminaciones superficiales, manchas limoníticas y varias incrustaciones terrosas. Presenta una sección cuadrangular y perfil de lados convergentes, apreciándose un claro estrechamiento a lo largo de su desarrollo desde una zona más ancha, que correspondería a la empuñadura, a un extremo más estrecho terminado en punta. Midiendo la sección a intervalos fijos, se aprecia un adelgazamiento gradual del desarrollo del cuerpo que, hacia la mitad de su longitud, se vuelve más regular y del todo cuadrado en la zona del extremo puntiagudo. Esta secuencia de medidas se ha tomado aproximadamente cada 100 mm, y empezando

desde la base –es decir desde la empuñadura, que mide 16x9,5 mm– se obtienen unos valores de 15x13,5 mm, 12,5x12 mm, 10,5x9,5 mm, 10x9 mm y 9x9 mm en la punta. La zona de la empuñadura presenta un leve aplastamiento y mide 16x9,5 mm aunque, debido al mal estado de conservación del hierro, no se puede determinar con claridad si este aplastamiento es debido a un problema de corrosión o si se trata de una característica morfológica de la pieza.

Con el fin de comprobar si el asador conservaba todavía parte del núcleo metálico, se ha efectuado una radiografía⁵ (Fig. 10.67) que nos ha permitido confirmar lo que se apreciaba con el simple examen visual del artefacto, es decir la completa oxidación del metal. Por tanto, no ha sido posible efectuar un análisis microscópico de su estructura ni realizar su estudio metalográfico.

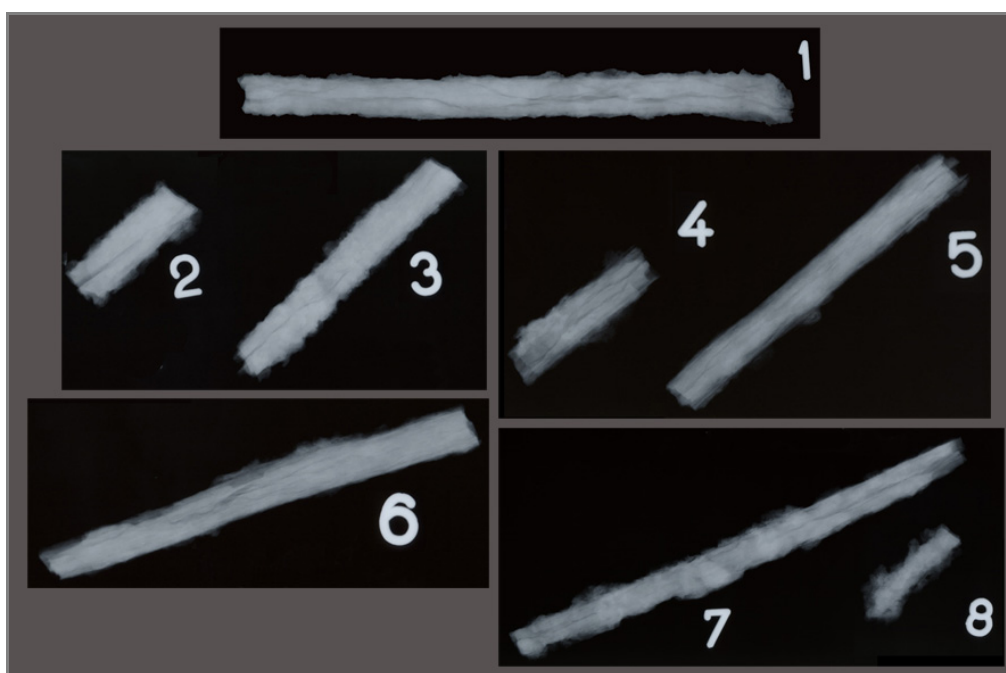


Fig. 10.67. Radiografías de los ocho fragmentos pertenecientes al asador F31229 procedente de La Fonteta.

El segundo asador, con número de inventario F31235, parece ser de dimensiones menores, aunque su estado fragmentado e incompleto no nos permite aclarar su tamaño original. Presenta una longitud de aproximadamente 310 mm y conserva sólo el extremo de la punta. Como en el caso anterior, la sección es cuadrangular aunque esta vez es más

⁵ Las radiografías han sido llevadas a cabo en el Laboratorio de Rayos X del CNIM-CSIC por Manuel Alumbrosos Pérez y Luis del Real Alarcón. Los parámetros utilizados son: intensidad (I) 300 mA; voltaje (V) 150 kV y tiempo (T) 1'30''; y para su realización se ha utilizado una película AGFA D4.

fin, midiendo unos 9x6,5 mm en la zona central, la que está mejor conservada, y unos 4,5x4 mm hacia el extremo fino.

Aunque la intensa corrosión del metal no permite determinar claramente los detalles de su morfología, no se aprecia ningún engrosamiento del cuerpo, sólo presenta una ligera curvatura que puede ser debida a la fuerte oxidación de la pieza (Fig. 10.68). De hecho, se decidió no efectuar una radiografía de esta pieza ya que la corrosión y su escaso grosor no habrían permitido encontrar zonas residuales de hierro metálico.



Fig. 10.68. Asador F31235 procedente de La Fonteta.

Por lo que concierne a su contexto de descubrimiento, este asador procede del Corte 5, el sector contiguo al que proporcionó el asador anterior. El estrato en el que fue recogido (A4a) corresponde a un depósito de finas capas englobadas en una amplia bolsada a la que no se asocia ninguna estructura en particular; este depósito ha proporcionado numerosos hallazgos de cerámica de barniz rojo y se fecha en la fase VI del yacimiento, es decir a principios del siglo VI a.C. (González Prats y Ruiz Segura 1998).

El último asador identificado, F31236 (Fig. 10.69), está incompleto y fracturado en los dos extremos. Presenta una longitud de 165 mm, el perfil se va estrechando ligeramente a lo largo de su desarrollo y la sección es cuadrangular, con un grosor máximo de 10x11 mm.



Fig. 10.69. Asador F31236 procedente de La Fonteta.

De acuerdo con sus características morfométricas y con lo que se apreciaba en la porción conservada, parece que en origen este ejemplar no tuvo que ser especialmente largo. En uno de los extremos, a pesar de estar fracturado y de que falta la parte terminal, se apreciaba claramente un estrechamiento, correspondiendo con toda seguridad a la zona de la punta.

Este asador también procede del Corte 5 y pertenece a la fase VI de La Fonteta; como en el caso anterior, su procedencia estratigráfica (estrato A2b) no proporciona información relevante acerca de su posible función, ya que no hay datos sobre la eventual asociación de esta pieza con otros materiales o estructuras (González Prats y Ruiz Segura 1998).

Como en el caso del asador más completo (F31229), se ha efectuado una radiografía de la pieza para comprobar si quedaba todavía parte del núcleo metálico original (Fig. 10.70) pero, de nuevo, no se han identificado restos metálicos residuales debido a una total mineralización del hierro.

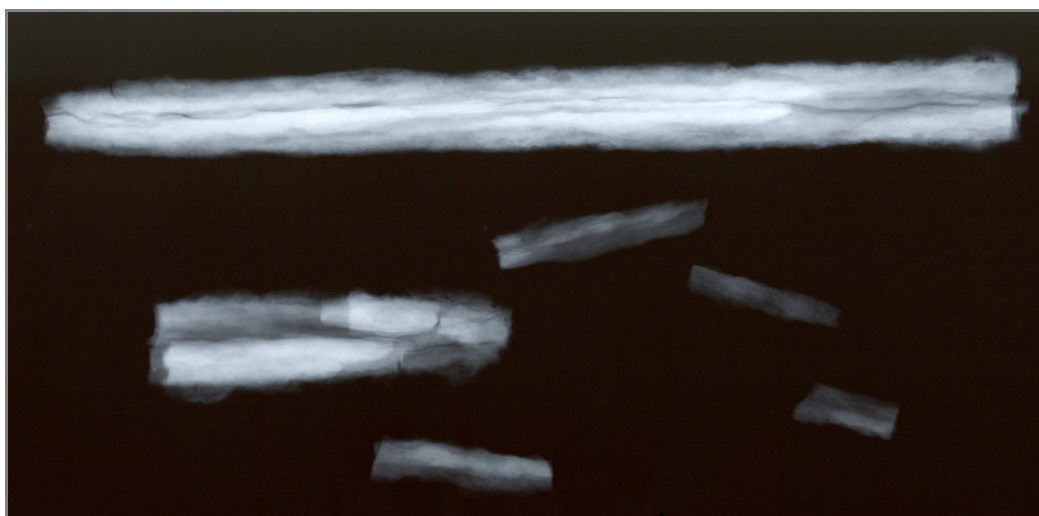


Fig. 10.70. Radiografía de los fragmentos pertenecientes al asador F31236 procedente de La Fonteta.

En la época objeto de este estudio, los posibles paralelos para estas piezas de La Fonteta son escasos. La Península Ibérica ha proporcionado pocos ejemplares de asadores en hierro mientras que se trata de hallazgos comunes en otros contextos mediterráneos, con una especial concentración en Chipre y en el Egeo, donde empiezan a aparecer ya en contextos del siglo XI a.C. (Karageorghis 1974; Demand 2004: 259-260). Casi todos los ejemplares chipriotas conocidos proceden de necrópolis, en general de tumbas de guerreros, y a menudo se encuentran en asociación con morillos, como por

ejemplo los asadores procedentes de Palaepaphos o el manajo de doce *obeloi* recogido en la contemporánea Tumba 79 de Salamis (Karageorghis 1974).

También en el mundo egeo y en Creta se ha recogido un importante número de asadores de hierro procedentes principalmente de contextos funerarios. De nuevo se documenta su presencia en algunas tumbas de guerrero, como los hallazgos de Argos (Grecia) o Kavousi (Creta) donde, al igual que en Salamis, se descubrieron doce *obeloi* asociados a dos morillos. Pero, a diferencia de Creta y Chipre, en Grecia se ha recogido una muestra representativa de asadores también en contextos sacros; de hecho, *obeloi* junto con barras de hierro han sido recogidos en varios santuarios, como por ejemplo en el templo dedicado a Hera en Argos (Waldstein 1905) o en el santuario de Apolo en Messenivria-Zone (Kostoglou 2003: 63). Sin embargo, en el estado actual de la investigación, tanto en el mundo egeo como en Chipre y Creta destaca la escasez de hallazgos de *obeloi* procedentes de contextos domésticos.

Con respecto a las características tipológicas de estos *obeloi* chipriotas y griegos, aunque la gran mayoría presenta una sección rectangular y lisa –necesaria para que, cuando se gira el asador sobre las brasas, los trozos de carne ensartados pueden adherirse al espetón sin abrirse (Karageorghis 1970: 41)– el tipo de empuñadura tiene múltiples variantes: elementos discoidales, un anillo o protuberancias tipo antenas situadas entre la empuñadura y el vástago, el extremo de la empuñadura enrollado o aplastado, empuñaduras de forma cónica o cilíndrica tanto macizas como huecas para la inserción de un mango, etc. Al igual que la tipología, también la longitud de los ejemplares completos puede variar, habiéndose documentado ejemplares desde 60 cm a 1,50 m de largo. Sin embargo, en ningún caso se han documentado ejemplares con empuñadura maciza y lisa como en el caso del asador F31229 de La Fonteta.

La presencia de numerosos ejemplares de asadores en varias sepulturas de la élite de las sociedades locales parece sugerir que estas piezas fueron consideradas bienes de prestigio, aunque todavía no ha sido posible aclarar si su presencia en las tumbas pueda ser debida también al hecho de que se les atribuyera un valor simbólico-religioso (Karageorghis 1970: 44). También la presencia de *obeloi* en santuarios griegos nos confirma que en algunos casos estos objetos debían de trascender la función de simples utensilios de uso cotidiano, y tradicionalmente se les ha atribuido un valor premonetal y sacrificial (para una visión general sobre el tema véase Parise 2003). Por tanto, los asadores han sido considerados como barras de metal valoradas al peso y que se

sustituirían en los inicios de la amonedación por una moneda de plata de valor equivalente, el óbolo. La relación del término *obelos* con los óbolos, los divisores del sistema monetario griego basado en la dracma, se ha considerado un elemento de apoyo para esta interpretación; el manojito de seis asadores sería pues la unidad del sistema, la *drakhmē* o dracma, y el de doce –como los hallazgos de Argos y Kavousi– sería el duplo (Parise 2003: 38). Sin embargo, hasta ahora todos los intentos para encontrar una analogía entre el peso de los distintos asadores hallados y establecer una posible relación de valor entre el hierro y la plata en los comienzos de la acuñación, no han tenido éxito.

El posible valor premonetario de los asadores parece estar íntimamente relacionado con un valor sacrificial y en las fuentes literarias clásicas hay varias menciones del uso de estos objetos como ofrendas votivas. En los poemas homéricos los *obeloi* servían para asar la carne de las víctimas sacrificadas después de asar sus vísceras; esta carne se repartía en porciones preestablecidas y es posible que el número de porciones ensartadas en el asador también estuviera ya establecido. El *obelos* como útil para asar correspondería pues a una unidad de medida, en origen para el reparto de carne, y de allí se habría establecido el hábito de “valorar” en *obeloi* y su uso habría pasado luego del ámbito sacrificial al de las transiciones comerciales como medida de intercambio (Parise 2003: 40).

A este propósito es imprescindible mencionar el descubrimiento de los ciento ochenta asadores de hierro dedicados a Hera en el santuario de Argos, encontrados en los niveles del siglo VII a.C. junto a barras de hierro de peso similar (de aprox. 72,5-73 g) (Svoronos 1909: 113-129). De hecho, en un testimonio literario atribuido al filósofo griego del siglo IV a.C., Heráclides Póntico, y recogido por el lexicón bizantino *Etymologicum Magnum* (fr. 152 Wehrli), se menciona que Fidón antes de la introducción de la moneda retiró todos los asadores utilizados como bienes de intercambio y los ofreció a Hera en su templo en Argos. Pero, actualmente, se ha demostrado que la noticia de esa ofrenda a Hera debe de mantenerse separada de la mención a la introducción de la moneda, ya que ésta se remonta al siglo VI a.C. mientras que los asadores encontrados en el santuario se fechan en una época anterior, dentro del siglo VII a.C. (Parise 2003: 39). Por tanto, no hay datos suficientes para afirmar que estos *obeloi* tuvieran valor premonetario y, a pesar de haber sido objeto de varios estudios especializados dentro de los distintos contextos de procedencia, su función sigue siendo controvertida.

De hecho, la tendencia de muchos investigadores a interpretar los *obeloi* como ofrendas votivas o como bienes con valor premonetal está relacionada con las noticias proporcionadas por las fuentes clásicas, en particular por las fuentes homéricas, pero también se han considerado otros posibles usos para estas piezas, por ejemplo como *currency bars* –es decir “lingotes” para transportar y comercializar el metal bruto– o también como simples utensilios domésticos para asar la carne. Además, la documentación arqueológica actualmente disponible apunta a que el uso de los asadores –y por tanto la interpretación de su posible función simbólico-votiva, premonetal, de medio de circulación de metal bruto o de utensilio de uso cotidiano– dependen claramente del contexto de descubrimiento de las piezas, no existiendo una única función para todos los objetos de este tipo.

Todavía falta un trabajo de recopilación de estos hallazgos que ofrezca una visión global de su difusión, uso y función dentro de las distintas culturas, aclarando si existen características morfológicas o composicionales diferentes de acuerdo con un distinto uso de los asadores⁶. En el trabajo realizado por M. Kostoglou (2003) sobre unos asadores encontrados en el santuario de Apolo en Messemvria-Zone y en el poblado de Avdera, ambos yacimientos en la costa de Tracia (Grecia), se realiza un análisis tecnológico de estas piezas que parece apuntar a una producción intencional de asadores con una distinta composición del metal en función del uso al que estaban destinados: todos los ejemplares procedentes del santuario, en el que constituirían ofrendas votivas, fueron fabricados utilizando acero de buena calidad, mientras que los asadores encontrados en contexto doméstico, como los que fueron recogidos en las viviendas del poblado de Avdera, corresponden a hierro dulce. Según la autora, estos ejemplares no necesitarían ninguna propiedad física y mecánica especial ya que servían sólo para asar la carne, mientras que los asadores encontrados en el santuario constituirían *currency bars* de acero utilizados como ofrendas votivas para Apolo, como sugiere también su asociación con una simple barra de metal de forma alargada que presenta la misma composición (Kostoglou 2003: 67-68).

Por lo que concierne a los asadores documentados en la Península Ibérica, la situación es distinta si la comparamos con la del mundo egeo y chipriota. Los asadores

⁶ Un trabajo de este tipo ha sido llevado a cabo por el Dr. Peter Haarer para los materiales procedentes de Grecia como tema de su tesis doctoral “Obeloi and Iron in Archaic Greece”, leída en 2001 en la Universidad de Oxford y todavía inédita. Quiero agradecer al Dr. Haarer los consejos y la ayuda que me ha proporcionado para el desarrollo de este apartado de mi tesis.

de hierro documentados son escasos mientras que los ejemplares fabricados en bronce son elementos metálicos relativamente frecuentes sobre todo en contextos orientalizantes, con una especial concentración en la zona suroccidental de la Península (Fernández Gómez 1982: 389; Armada 2005).

La bibliografía sobre esta tipología de objetos es amplia y el interés del mundo académico español y portugués acerca de la interpretación y función de estas piezas metálicas se remonta ya a la mitad del siglo pasado. De hecho, al igual que sus paralelos egeos, desde su primera aparición en los contextos arqueológicos peninsulares, los asadores se han prestado a distintas interpretaciones en cuanto a su posible función (como estoques, otro tipo de armas, etc.) y a su eventual significado religioso o votivo.

En el trabajo de X.L. Armada (2005) se presenta un cuadro bastante exhaustivo de los hallazgos de este tipo en la Península Ibérica y de las distintas teorías sobre su origen y uso, por tanto no entraremos en detalle en estas cuestiones. No obstante, merece la pena hacer una breve mención al primer estudio sobre asadores realizado por M. Almagro Gorbea (1974) en el que el autor realizó una clasificación tipológica de los asadores de bronce encontrados en el suroeste peninsular proponiendo una distinción, que hoy en día sigue vigente, en dos tipos principales, el tipo alemtejano y el tipo andaluz. Esta clasificación no se basa solamente en sus diferencias morfológicas sino también en un criterio geográfico y cronológico.

El tipo alemtejano es el más antiguo, con una cronología que incluye los siglos VIII-VII a.C. Se caracteriza por presentar una empuñadura en forma de pomo circular u ovalado con un doble estrangulamiento; el vástago es recto y presenta una sección generalmente cuadrangular. Estos asadores suelen superar 1 m de longitud y en algunas ocasiones pueden presentar aletas laterales que separan la empuñadura del asador en sí; también se han documentado ejemplares con motivos decorativos geométricos en la zona de la empuñadura o del arranque del vástago.

El tipo andaluz cubre un arco temporal más amplio que va desde el siglo VII hasta aproximadamente el siglo V-IV a.C. Su morfología es más sencilla que la del tipo anterior; la empuñadura apenas se diferencia del vástago y presenta sólo cierto ensanchamiento respecto al resto del cuerpo que tiene sección cuadrangular. La longitud de estas piezas suele ser inferiores a 80-90 cm y rara vez presentan decoraciones y aletas que, cuando se aprecian, están menos desarrolladas respecto a los asadores de tipo alemtejano.

Aunque la mayoría de estos asadores corresponde a hallazgos fortuitos o procede de colecciones privadas, algunos ejemplares han sido recogidos en excavaciones arqueológicas y permiten entender mejor su distribución geográfica y cronológica. Los contextos de descubrimiento corresponden tanto a ambientes funerarios, principalmente a tumbas de incineración, como a poblados y a ambientes de tipo sacro. Sin embargo, si se analizan estos hallazgos y su dispersión a nivel peninsular durante el I milenio a.C., como hace notar Armada (2005: 1252), es necesario ampliar la clasificación inicial realizada por Almagro Gorbea (1974) ya que no todos los ejemplares documentados pueden ser enmarcados en los dos tipos arriba mencionadas. Existe un amplio grupo de asadores de tipo más sencillo, a menudo correspondientes a simples varillas de distinta longitud y grosor fabricadas tanto en bronce como en hierro. Este tipo de asadores ha sido documentado prácticamente en todo el territorio peninsular y cubre un arco cronológico muy amplio, pero a veces la interpretación de estas piezas como asadores no es del todo segura. Éste es el caso por ejemplo de las varillas de hierro encontradas en el yacimiento protohistórico de La Peña Negra (Crevillente, Alicante) (Lucas 1991: 354) o en la Tumba 14 de la necrópolis celtibérica de La Mercadera en Soria (Lorrio 1990: 41, 45).

De contextos similares pero de interpretación más clara, proceden un ejemplar encontrado en la Tumba 476 de la necrópolis de Las Cogotas (Cardeñosa, Ávila) (Kurtz 1987) y el que ha proporcionado la Tumba 514 de La Osera (Chamartín de la Sierra, Ávila) (Cabré *et al.* 1950). Quizás en este último grupo de asadores se debería incluir también el descubrimiento de unas varillas de bronce u *obeloi* que se encontraron asociados a fragmentos de cerámica griega y etrusca en una excavación de urgencia en el solar de la C/Méndez Núñez 5, en el casco antiguo de Huelva (Fernández Jurado 1988-1989a: 159-162). Estos asadores se fechan a mediados del siglo VI a.C. y fueron hallados agrupados en dos haces y parte de un tercero en los que todavía se pueden observar las huellas de las ataduras. El primer haz está constituido por siete varillas, el segundo por cinco y el tercer haz sólo conserva tres de las varillas que originariamente lo constituirían (Fernández Jurado 1988-1989b: 202-204). Estos asadores presentan distinto tamaño y grosor, pero el avanzado estado de corrosión del metal no permite determinar con exactitud sus medidas; la sección es cuadrangular y se va redondeando hacia uno de los dos extremos, mientras que el otro extremo tiene una terminación en punta en la que se aprecia una pequeña protuberancia que los autores identifican como

el arranque de un posible arponcillo. Su grosor suele ser escaso y la longitud conservada varía entre 70 y 95 mm (Fernández Jurado 1988-1989b: 204-205).

Las características morfométricas de estos *obeloi* no permiten establecer ninguna correspondencia tipológica con los asadores de tipo alemtejano o andaluz definidos por Almagro Gorbea (1974), pero sí se aproximan a algunas piezas de hierro de La Fonteta incluidas en el primer grupo de objetos estudiados, el de los elementos metálicos de forma alargada. Como ya se había mencionado en el apartado correspondiente, se trata de cuatro barras de sección cuadrangular y escaso grosor que presentan medidas similares entre ellas (F12765; F12779; F41845 y F55037; Fig. 10.52). Están todas incompletas, la longitud conservada de los fragmentos varía entre 40 y 65 mm según la pieza y su grosor es bastante escaso, de unos 3-5 mm. Sólo uno de los cuatro ejemplares estudiados está fracturado en ambos extremos; dos barras conservan un extremo cerrado y en la otra (F41845) se aprecia una terminación en punta, constituyendo el elemento clave para la interpretación de estas piezas como posibles fragmentos de asadores.

Por tanto, actualmente en la Península Ibérica a las dos tipologías iniciales de asadores de bronce –el tipo alemtejano y el andaluz– propuestas por M. Almagro Gorbea (1974), habría que añadir un amplio grupo de simples varillas de sección cuadrangular terminadas en punta que tienen una amplia distribución geográfica y cronológica y están fabricadas tanto en bronce como en hierro. Sin embargo, aunque los primeros dos tipos parecen fabricarse exclusivamente en bronce, el asador de hierro más completo de La Fonteta (F31229), tanto por morfología y medidas como por atribución cronológica, podría corresponder al tipo andaluz.

En el estado actual de la investigación es difícil poder confirmar si existe una correspondencia tipológica entre asadores de bronce y de hierro ya que los hallazgos de asadores de hierro en la Península Ibérica son todavía poco numerosos. Destacan los tres fragmentos de asadores de hierro de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona) (Marlasca *et al.* 2005), y otro fragmento de asador que procede del yacimiento de Sant Jaume Mas d'en Serrà, en Tarragona (Rovira Hortalà 2007: 169). La morfología de los asadores procedentes de Can Piteu-Can Roqueta es distinta a la de los ejemplares identificados en La Fonteta y de los asadores de bronce antes descritos. Sólo uno de ellos está completo y presenta en la zona de la empuñadura un

extremo con cabeza enrollada; el vástago –de sección cuadrangular– tiene una longitud total de 82,5 cm. Los otros dos asadores documentados corresponden a unos fragmentos de varilla en los que el extremo conservado presenta un ensanchamiento de forma romboidal o discoidal del cuerpo (Marlasca *et al.* 2005: 1043) (Fig. 10.71), mientras que del cuarto asador, procedente del poblado de Sant Jaume, no se conocen las características morfométricas ya que se trata de un hallazgo todavía inédito (Rovira Hortalà 2007: 169).

Ninguno de estos asadores de hierro catalanes presenta una tipología que pueda ser claramente enmarcada en la clasificación realizada por Almagro Gorbea (1974) ni puede compararse de manera directa con el de La Fonteta, sugiriendo que en los circuitos comerciales de la zona estén circulando materiales de distinto origen. De hecho, los ejemplares con extremo discoidal o romboidal tienen sus prototipos en el mundo griego, en particular en las tumbas geométricas del siglo VIII a.C. de Argos, pero los paralelos más cercanos para los asadores con cabeza enrollada se encuentran en el mundo itálico donde han sido documentados en algunas tumbas aristocráticas fechadas en los siglos VIII-VI a.C., igualmente vinculadas con el mundo helénico (Marlasca *et al.* 2005: 1043; Rovira Hortalà 2007: 169).

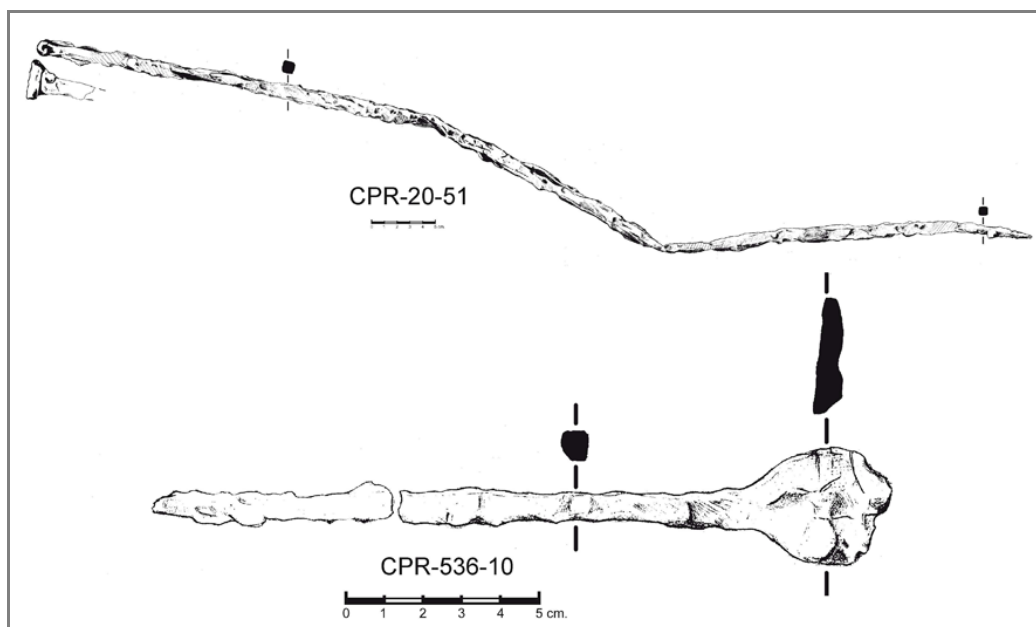


Fig. 10.71. Asadores procedentes de la necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona), según Marlasca *et al.* 2005.

En el suroeste de la Península Ibérica también se han documentado asadores de hierro. Algunos fragmentos han sido hallados en una excavación de un fondo de cabaña en el yacimiento de Puebla del Río, en Sevilla (Escacena y Henares 1999: 508-510). Dentro de la estructura se identificaron tres hogares de características similares y en uno de ellos se recogió la punta de un probable asador; asimismo, se encontraron varios fragmentos de un segundo ejemplar junto a otro hogar. Los autores no proporcionan mucha información acerca de la tipología de estos asadores pero sí mencionan que presentan tamaños similares a los ejemplares en bronce (Escacena y Henares 1999: 509). El yacimiento se fecha dentro del Hierro Antiguo y es posible, como sugiere la presencia de un fragmento de ánfora fenicia, que una de las fases de ocupación tuvo lugar en el siglo VII a.C.

Otro asador de hierro procede de Extremadura, del yacimiento orientalizante de El Palomar (Oliva de Mérida, Badajoz) y se fecha en la última fase de ocupación del poblado, a finales del siglo VI a.C. (Jiménez Ávila y Ortega 2001: 237). Pero de nuevo nos encontramos ante la falta de una descripción detallada de las características tipológicas y de las medidas específicas de este hallazgo que no permite determinar la eventual correspondencia con sus paralelos en bronce.

En resumen, al igual que los asadores de bronce, también los ejemplares en hierro documentados hasta ahora en la Península Ibérica proceden tanto de contextos funerarios como domésticos, pero todavía no se ha encontrado ningún ejemplar en un contexto sacro. De momento habría que excluir pues un posible valor religioso y sacrificial para las piezas en hierro, un valor que, como hemos visto anteriormente, ha sido atribuido a algunos *obeloi* griegos y también a unos asadores en bronce procedentes de Cancho Roano (Zalamea de la Serena, Badajoz) (Celestino y Zulueta 2003: 36-40) donde se han asociado a ceremonias rituales o a banquetes de carácter funerario (Armada 2005: 1249).

En los ejemplares procedentes de contextos funerarios, se ha considerado que podría tratarse de ofrendas para acompañar al difunto; en este caso constituirían elementos del ajuar pero también podrían corresponder a objetos ceremoniales depositados como ofrendas en las tumbas después de la celebración de un banquete funerario (Jiménez Ávila 2002: 308; Armada 2005: 1260). Sin embargo, los hallazgos conocidos de asadores de hierro en necrópolis parecen indicar que estos objetos se consideraban bienes de prestigio, aunque no se puede excluir que en algunos casos se

tratara de ofrendas. La interpretación de los asadores como bienes de prestigio se ve reforzada por su presencia en enterramientos de especial riqueza, como en el caso de las varillas encontradas en la segunda tumba más rica de las cien tumbas excavadas en la necrópolis de La Mercadera (Soria) o de los asadores procedentes de tumbas “destacadas” de las necrópolis de Las Cogotas y de La Osera, ambas en la provincia de Ávila. En todas ellas es recurrente la asociación de los asadores principalmente con armas y/o elementos bélicos, sugiriendo que se trata de tumbas de guerreros al igual que en el mundo griego e itálico, y en las que corresponderían a indicadores de riqueza (Armada 2005: 1263).

De todos modos, no todos los ejemplares conocidos se pueden interpretar como bienes de prestigio u ofrendas para los difuntos; para otros asadores, como los de Puebla del Río (Sevilla), hay que suponer que correspondan a simples utensilios de uso doméstico generalmente empleados para asar la carne, como indica además su descubrimiento cerca de un hogar y la asociación con restos de combustión, huesos y cerámica. Posiblemente éste sea también el caso de los ejemplares encontrados en La Fonteta aunque, dado el carácter del yacimiento, para ellos no se debería excluir del todo otra posible interpretación, es decir que fueran utilizados como *currency bars*. Como se ha mencionado anteriormente para algunos ejemplares griegos (Kostoglou 2003), se trataría de una especie “lingotes” para el transporte y la comercialización de hierro “bruto”, y la presencia en el yacimiento de elementos metálicos de este tipo no debería de extrañar ya que, además de fragmentos de lingotes, se han documentado también barritas metálicas tanto de bronce como férricas que podrían haber tenido la misma función. Además, es indudable que la actividad comercial tuvo un peso importante en la economía de La Fonteta, como indican la variada producción metalúrgica documentada, la presencia de ponderales y de numerosos materiales exóticos, como marfil, huevos de avestruz, escarabeos de fayenza, elementos en pasta vítrea, etc. La existencia de *currency bars* en forma de asadores constituiría otra manera de comercializar el metal, en este caso hierro bruto forjado a partir de una lupia, y es posible que la elaboración de lingotes con determinada forma podría estar vinculada con la necesidad de asegurar cierta calidad del metal, ya que la transformación de una lupia en un objeto fino y de forma alargada implicaría una purificación del hierro suficiente para que pudiera ser forjado adecuadamente. De hecho, Crew (1994) sugiere que se llevaban a cabo prácticas para comprobar la calidad del metal forjando, por ejemplo, el extremo de una barra de hierro hasta obtener una forma hueca.

Currency bars de distintas formas y tamaños son conocidas tanto en el Próximo Oriente como en Europa. Los ejemplares orientales más antiguos son unas barras bipiramidales de hierro encontradas en Khorsabad (Irak) y se fechan en el siglo VIII a.C. Con respecto a Europa, como ya se ha mencionado, algunos de los *obeloi* griegos podrían tener la misma función y cubren un arco cronológico más amplio que va por lo menos desde el siglo VIII-VII al IV a.C. Varios tipos de *currency bars* proceden también del suroeste de Inglaterra donde durante la Edad del Hierro prerromana se documentan barras en forma de espada; asimismo, en Suecia se han documentado “lingotes” de hierro en forma de hacha o de azada, mientras que hallazgos de este tipo parecen ser menos comunes en ambiente mediterráneo. Por ejemplo, Cartago ha proporcionado unas peculiares barras en forma de huso y en Italia se han encontrado unas extrañas barras de cobre-hierro (Tylecote 1987: 254-255). Sin embargo, en la Península Ibérica durante la fase cronológica objeto de esta Tesis no se han documentado “lingotes” de hierro y tampoco se han encontrado claras evidencias de comercio de hierro bruto en masas metálicas de forma preestablecida. Los lingotes propiamente dichos empiezan a aparecer sólo a partir de la II Edad del Hierro –siendo los lingotes celtibéricos conservados en la Real Academia de la Historia y fechados en los siglos IV-III a.C. el único hallazgo conocido (Almagro Gorbea 2004)– y se documentan con más frecuencia sólo a partir de época romana (Rovira Llorens 2000: 216). Por tanto, la interpretación de estos asadores como posibles productos semiacabados con función de intercambio de metal –es decir, unos elementos concebidos para la comercialización de hierro bruto– tendría una importancia especial en la economía fenicia durante una fase en la que todavía parece predominar la producción y el uso de metal de base cobre. Sin embargo, con los datos actualmente disponibles no se puede determinar con seguridad cuál fue la función de los asadores encontrados en La Fonteta.

10.3.2 Un objeto de hierro-níquel: ¿hierro meteórico o terrestre?

Debido a su peculiar composición, con una cantidad extraordinariamente elevada de níquel, esta pieza (F41734-1) ha sido seleccionada para un estudio analítico más exhaustivo. Se trata de un objeto de forma nodular que presenta una capa superficial de concreciones –que en algunas zonas alcanzan hasta 50 mm de espesor– formada por óxidos, cantos adheridos, zonas limoníticas e incrustaciones de tierra (Fig. 10.72a).

Por su aspecto, inicialmente se pensó que pudiera tratarse de un nódulo de mineral o de una escoria, y se procedió a extraer una muestra para su análisis por SEM-EDX. Una vez cortada la pieza se vio que podía tratarse de un objeto acabado, aunque la corrosión prácticamente total del metal no permitía reconocer su forma y función originales (Fig. 10.72b). El perfil es ovalado y presenta unos 23 mm de anchura máxima (sin contar las incrustaciones superficiales) y una longitud de aproximadamente 51 mm. Está fracturado y parece incompleto; pesa 82 g.

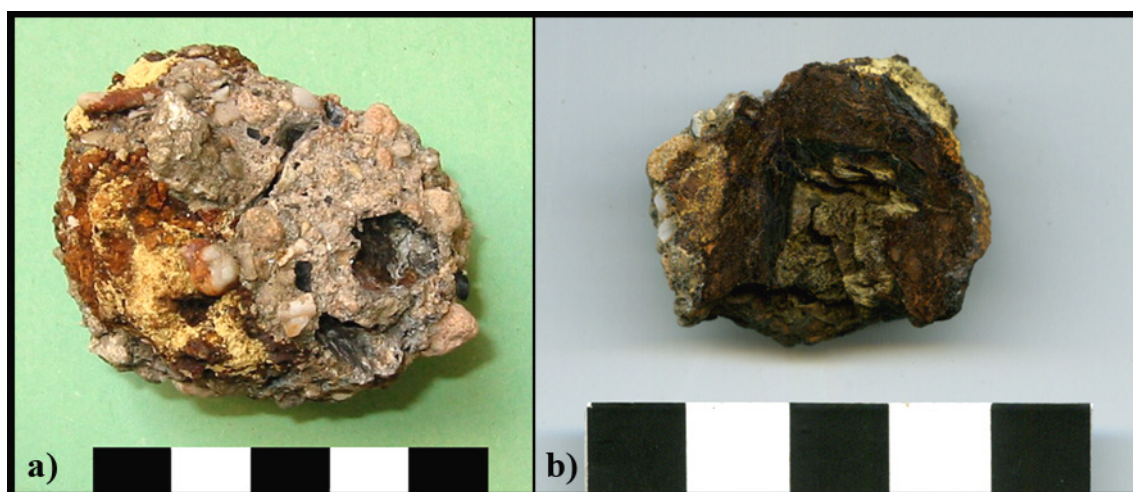


Fig. 10.72. Objeto Fe-Ni F41734 procedente de La Fonteta: a) aspecto antes del corte; b) sección cortada.

En la zona central de la pieza, se aprecia una especie de perforación de tendencia cuadrangular, bastante irregular y aplastada; es difícil determinar si se trata de una característica morfológica realizada intencionalmente o si se ha producido por la corrosión del hierro. Esta zona hueca tiene una estructura laminar con planos diagonales que podrían corresponder a huellas dejadas por algún elemento fibroso, posiblemente madera o carbón; sin embargo, tampoco este elemento nos ayuda a aclarar la posible función de esta pieza. Por lo que se ha podido observar en la sección, su forma original tuvo que ser de tendencia rectangular con un posible extremo cerrado y una estrecha perforación cuadrangular en la zona central, de unos 50 mm de tamaño; el grosor de las “paredes” de la pieza, medido considerando el orificio como su eje central, es de 40 mm por un lado y 70 mm por el otro. La muestra presenta ferromagnetismo.

En la capa superficial formada por incrustaciones, se aprecia a simple vista la presencia de algún resto de carbón y de varias laminillas de forja englobadas en las tierras. La presencia de estos elementos se explica fácilmente si consideramos que esta pieza procede de los vertederos metalúrgicos del Corte 54-1 (fase II, FA). Aquí se han

excavado varias estructuras de combustión que se habrían utilizado para operaciones de forja, como nos confirma la presencia de restos relacionados con estas actividades en los estratos cenizosos que formaban dichos vertederos metalúrgicos.

El mal estado de conservación del objeto ha limitado la elección de las posibles técnicas analíticas aplicables para llevar a cabo su estudio completo. Como era de esperar, la observación en el microscopio óptico nos muestra un material altamente oxidado; su microestructura, por la avanzada corrosión del metal, presenta una serie de bandas paralelas en las que se aprecia cierta deformación, posiblemente debida al trabajo de forja al que fue sometido, y que le confieren cierto aspecto fibroso.

Como se verá en la ficha de análisis correspondiente a la muestra en cuestión en el Anexo a esta Tesis, sólo se ha identificado una zona en la que se conservan unos pequeños islotes de hierro residual (Fig. 10.73). Sin embargo, el escaso tamaño de estas zonas metálicas no ha permitido realizar un estudio metalográfico de la muestra para evidenciar qué tipo de tratamientos mecánicos y/o térmicos fueron empleados para su elaboración, pero sí nos ha permitido realizar mediante microscopía electrónica de barrido su análisis global y por tanto aproximarnos a su composición original.

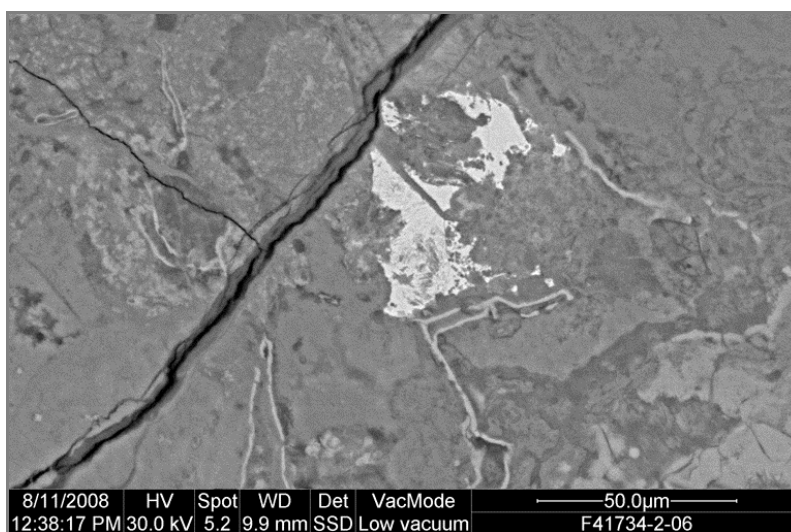


Fig. 10.73. Zonas metálicas residuales de la muestra F41734. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Asimismo, mediante SEM-EDX se ha determinado la composición elemental de sus distintas fases constitutivas. Se ha comprobado por ejemplo que las bandas paralelas observadas en el microscopio óptico corresponden a zonas de distinta concentración de hierro y níquel, con un contenido en níquel que va aproximadamente desde un 6% Ni hasta casi un 40% Ni en las zonas de mayor enriquecimiento en este elemento; en

algunas de las bandas se ha detectado también un contenido apreciable de arsénico (1,5% As).

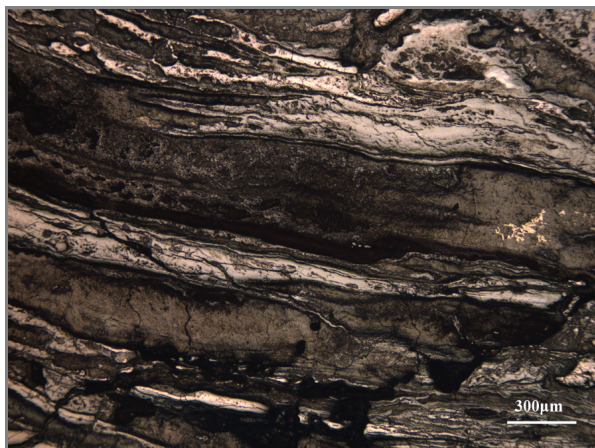


Fig. 10.74. Microestructura de la muestra F41734. Se aprecia el mayor relieve de las zonas ricas en níquel con respecto a las otras. Imagen MO.

Se ha supuesto pues que el relieve de estas bandas que se apreciaba en las imágenes del microscopio óptico (Fig. 10.74) es debido a la distinta resistencia a la oxidación de los dos metales; de hecho el níquel, más resistente que el hierro, se ve de color más blanquecino y brillante respecto al hierro por su menor contenido en oxígeno (Fig. 10.75). En el área metálica residual en

la que se ha efectuado el análisis global de la composición de la pieza, se ha detectado un 84% Fe y un 16% Ni.

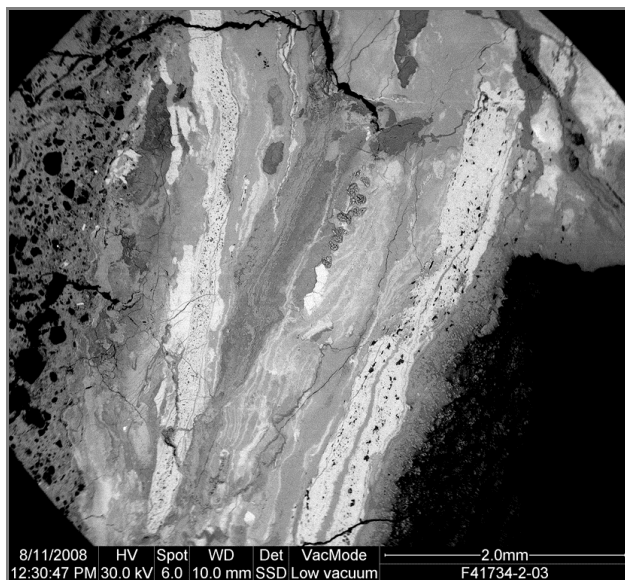


Fig. 10.75. Microestructura de la muestra F41734 en la que se aprecia el color más blanquecino de las zonas más ricas en níquel. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

La detección de un contenido tan elevado de níquel nos llevó a considerar la hipótesis de que pudiera tratarse de una pieza fabricada con hierro meteórico. La cuestión del posible origen meteórico o terrestre de los hierros ricos en níquel es un tema muy debatido desde los comienzos del siglo XX. Sin embargo, todavía no se ha conseguido establecer un criterio del todo concluyente para distinguir de manera satisfactoria

entre estos dos posibles orígenes, es decir entre hierro meteórico o hierro resultante de la reducción de minerales ferroníquel. En realidad, existe también un tercer posible recurso para los hierros niquelíferos, el hierro telúrico o nativo, que puede contener tasas de níquel de 0,5-4% Ni, un contenido normalmente inferior al que se suele detectar

en los hierros meteóricos. Pero el uso de este recurso ha sido descartado como posible origen para nuestra pieza, principalmente por la extrema rareza de este metal en la tierra: en Europa se conocen escasos depósitos, como por ejemplo los que se han encontrado cerca de Kassel en Alemania o en la isla de Disko, en la costa occidental de Groenlandia (Photos 1989: 405; Buchwald 2005: 35-37).

Con respecto a los hierros meteóricos, la bibliografía especializada es muy amplia (véase, por ejemplo, Buchwald 1975) y la naturaleza de estos materiales es muy compleja. Existen numerosos tipos de meteoritos pero su clasificación y estudio están fuera de los objetivos de esta Tesis. Como breve introducción a los meteoritos es suficiente saber que, en general, éstos se caracterizan por la presencia de dos fases principales ricas en níquel, la kamacita y la taenita: la kamacita es una aleación de hierro y níquel con contenidos de aproximadamente 4-7,5% Ni, mientras que la taenita presenta tasas más elevadas de este elemento, que pueden estar comprendidas entre 20-65% Ni. Cuando estas fases están presentes en cantidades similares, se forman unas estructuras cristalinas definidas de *Widmanstätten* que corresponden a bandas de intercrecimiento de kamacita y taenita. Estas dos fases níquelíferas combinadas con otros minerales no metálicos y con sulfuros forman los tres tipos principales de meteoritos: las hexaedritas, con un 4-6% Ni; las octaedritas, con un 6-12% Ni, y las ataxitas, cuyo contenido en níquel supera el 18% Ni –se conocen algunos ejemplares que tienen hasta un 50-60% Ni– y que corresponden al grupo menos numeroso de meteoritos. La morfología de *Widmanstätten* es característica de las hexaedritas y octaedritas pero no se aprecia en las ataxitas debido a que estas últimas están constituidas principalmente por taenita y su contenido en níquel es demasiado elevado para que pueda formarse una estructura cristalina.⁷ El ejemplar de La Fonteta, si se aceptara que corresponde a un hierro meteórico, por su composición con más de un 16% Ni es posible que perteneciera a este último tipo y las bandas con los distintos contenidos de níquel detectados corresponderían a las dos fases arriba mencionadas, la kamacita con alrededor del 6% Ni y la taenita con hasta un 40% Ni.

En época antigua existen numerosos paralelos de objetos de hierro ricos en níquel, como, por ejemplo, los hallazgos más antiguos de objetos férricos actualmente

⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Meteorito_metálico

conocidos que se han documentado en contextos del V milenio a.C. del Próximo Oriente. La temprana aparición del hierro, que se introducirá como nueva tecnología metalúrgica sólo cuatro milenios después de la aparición de estos artefactos, junto con las altas tasas de níquel contenidas en ellos, se han considerado evidencias claras de que se trataba de objetos fabricados con hierro meteórico. A este propósito, es preciso destacar que de los trece análisis elementales recogidos por Buchwald (2005: 24-25, tabla 1.5) de estos objetos, en ninguno de los casos la tasa de níquel supera el 10,9% Ni, estando normalmente comprendida entre 4-6% Ni, unos valores que resultan sensiblemente inferiores al que se ha detectado en la pieza de La Fonteta.

Para estos primeros artefactos férricos, la observación en la sección pulida de la morfología cristalina considerada característica de los meteoritos, es decir la típica estructura de *Widmanstätten*, fue otro criterio empleado para determinar el origen meteórico del hierro utilizado para su fabricación (Buchwald 2005: 24). Esta estructura es bastante resistente y, aunque se apliquen a la pieza intensos trabajos mecánicos en frío y un recocido a baja temperatura, con el reactivo químico adecuado en una metalografía las líneas pueden encontrarse distorsionadas pero siguen siendo reconocibles; sin embargo, tratamientos en caliente a más de 1000°C pueden llevar a la pérdida total de la estructura de *Widmanstätten* y a la formación de martensita (Tylecote 1987: 103).

En el caso de la pieza F41734-1 de La Fonteta, la intensa corrosión del metal no nos ha permitido determinar mediante el estudio metalográfico si en su microestructura se han formado las líneas de *Widmanstätten*. De todos modos, independientemente de su avanzada oxidación, es posible que su contenido en níquel fuera demasiado elevado para que se formara esta estructura. Por tanto, excluyendo la posibilidad de llevar a cabo una clasificación microestructural de la muestra, se ha procedido a efectuar análisis químicos más exhaustivos de su composición, con el fin de detectar y cuantificar sus elementos traza y comparar los datos obtenidos con la composición conocida de varios meteoritos; en particular, se han analizado las cantidades de germanio (Ge), galio (Ga), iridio (Ir) y de otros elementos del grupo del platino eventualmente presentes en la muestra, ya que la detección de estos metales y metaloides en determinadas cantidades suele ser característica de los hierros meteóricos.

Primeramente, se llevó a cabo un análisis de la muestra por PIXE, y las medidas se realizaron en la línea del micro-haz externo del Centro de Microanálisis de

Materiales (CMAM) de la Universidad Autónoma de Madrid.⁸ De acuerdo con los resultados obtenidos, la concentración de níquel varía en las tres zonas distintas analizadas, dependiendo también de la mayor o menor contaminación y corrosión presentes en ellas; la tasa más alta, de 12,2% Ni, se ha detectado en la zona intermedia del fragmento analizado (la más oscura); el contenido de arsénico es de aproximadamente 1% As y de los elementos arriba mencionados (Ga, Ge e Ir), por falta de estándares adecuados, sólo se ha podido cuantificar el germanio que está presente en cantidades muy reducidas (60 ppm) y solamente en una de las zonas analizadas (Tabla 10.23).

Muestra	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Ge	As
F41734-1 (zona gris, más interna)	0,87	0,77	0,08	0,23	0,30	0,028	0,22	nd	0,037	0,03	89,1	7,27	0,006	1,02
F41734-1 (zona marrón, más externa)	5,03	5,05	0,33	0,24	0,27	0,173	1,09	0,049	nd	nd	86,1	1,63	nd	0,02
F41734-1 (zona negra, intermedia)	1,83	1,71	0,10	0,34	0,29	0,038	0,27	0,004	0,341	0,11	81,7	12,2	nd	1,06

Tabla 10.23. Resultados de las medidas de PIXE (expresados como % en peso) de la muestra F41734-1 de La Fonteta (nd: no detectado).⁹

Se decidió por tanto recurrir a otro método analítico para poder determinar y cuantificar la presencia de estos elementos y se envió la muestra a los laboratorios del *Curt-Engelhorn-Zentrum Archaeometrie* (CEZA) de Mannheim perteneciente a la Universidad de Tübingen (Alemania), para analizarlo por LA-ICP-MS (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Esta técnica analítica permite la determinación de elementos con rango de masa atómica entre 7 y 250 (desde el Li hasta el U) y es capaz de detectar desde nanogramos por litro (ppb) hasta porcentajes.¹⁰

⁸ Las medidas de PIXE se efectuaron con un haz de protones a 3 MeV. Los protones llegaron a la muestra, situada a 3 mm de la ventana de salida, con una energía aproximada de 2990 keV. El tiempo de adquisición fue de 900 s para obtener valores de carga entre 1.9 y 3.1 μC . Los rayos X emitidos fueron recolectados con dos detectores, optimizados respectivamente para la detección de elementos ligeros y pesados, a este último se le adaptó un filtro de cobalto de 15 μm para absorber los rayos X del hierro. Los espectros PIXE fueron procesados con el programa GUPIX, asumiendo que las muestras son gruesas y homogéneas. Los análisis han sido llevados a cabo por la Dra. Carolina Gutiérrez y el Dr. Aurelio Climent Font.

⁹ Los resultados se presentan aquí en una versión simplificada; los datos completos, con la referencia a los estándares y las distintas líneas de energía medidas para cada elemento se pueden ver en la ficha correspondiente a la muestra F41734-1, en el Anexo a este Tesis.

¹⁰ Los análisis se han efectuado en condiciones húmedas utilizando un láser de estado sólido Nd:YAG operando a 213 nm (Microprobe II Laser Ablation System con LUV213 Laser, New Wave Research, USA integrado posteriormente) y acoplado con un ICP-MS XSeriesII quadrupole (Thermo Electron Corporation) con tecnología de celda de colisión (Collision Cell Technology, CCT). Por el estado de corrosión de la muestra, se ha efectuado solamente la línea de ablación y ha sido necesario realizar

De acuerdo con los resultados obtenidos, el contenido total de níquel de F41734-1 es de 19% Ni, con un 1,7% As, 2,1% Co y 0,15% Cu (Tabla 10.24). En este centro se han analizado también los elementos traza de una muestra del meteorito Mundrabilla (Australia) para poder hacer una comparación con los datos de la muestra de La Fonteta.

	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Ga	Ge	As	Ru	Os	Ir
	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
F41734-1	52	87	76,8	21729	19,1	1537	14	55	17506	1	0,02	0,02
Meteorito Mundrabilla	1	11	92,4	5500	7,0	130	67	239	30	6,5	0,32	0,65

Tabla 10.24. Resultados LA-ICP-MS de los elementos presentes en la muestra F41734-1 de La Fonteta y en el meteorito Mundrabilla (Australia).¹¹

La presencia de osmio, iridio, rutenio, germanio y galio en la pieza de La Fonteta es muy reducida y sensiblemente inferior a la que se ha detectado en la muestra de meteorito analizada, pero la comparación con una única muestra no permite avanzar conclusiones definitivas. Se ha procedido pues a la recopilación de los análisis más completos de meteoritos disponibles en la bibliografía (Tylecote 1987: 100, tabla 3.15; Buchwald 2005: 30, tabla 1.6) para realizar una contrastación más efectiva de los datos. Se trata de una decena de análisis de meteoritos de distinta procedencia en las que se ha podido observar que las cantidades detectadas de los elementos arriba mencionados pueden ser muy variables. Por ejemplo, el contenido de níquel suele estar comprendido entre 5,6-10,4% Ni y el cobalto entre 0,4-0,6% Co; el germanio (100-412 ppm) y el osmio (0,02-3,7 ppm) están presentes en el 50% de las composiciones de los meteoritos analizados; el iridio en cuatro de ellos (0,014-340 ppm); el rutenio (4,4-140 ppm) y el galio (58-97 ppm) sólo en tres meteoritos y el arsénico (4-20 ppm) está presente únicamente en dos muestras y en cantidades muy pequeñas (Tylecote 1987: 100, tabla 3.15). Por tanto, aunque los contenidos de los elementos traza en cuestión pueden ser muy variables en la composición de los meteoritos y en algunos casos están del todo ausentes, parece poderse excluir con cierta seguridad el origen meteórico del hierro de

también una pre-ablación bastante fuerte debido a la porosidad de la superficie de la muestra. Hierro y manganeso han sido medidos en modo de alta resolución para evitar señales demasiado elevadas. Los cálculos se han efectuado utilizando el software Plasmalab (Thermo) del equipo, empleando corrección de deriva externa, bloques de calibración múltiple y ¹⁶⁹Tm como estándar interno. Los resultados Plasmalab obtenidos han sido exportados a Microsoft Excel, normalizados al 100% y se ha corregido el error relativo de los elementos presentes en los estándares NBS 1262b y NBS 152a. Los análisis han sido llevados a cabo por el Dr. Michael Brauns y por el Prof. Dr. Ernst Pernicka a los que agradezco sus consejos y ayuda.

¹¹ Los resultados se presentan aquí en una versión simplificada; los datos de los estándares utilizados se pueden ver en la ficha correspondiente a la muestra F41734-1, en el Anexo a este Tesis.

la muestra F41734-1. El elevadísimo contenido de níquel, junto con la significativa presencia de arsénico y cobalto sugieren un origen distinto para esta pieza.

Aunque los análisis elementales de artefactos de hierro de la Península Ibérica efectuados hasta la fecha son todavía escasos, actualmente el objeto de La Fonteta es el único conocido con este tipo de composición. Tampoco en las otras piezas de La Fonteta analizadas por ED-XRF se ha detectado níquel, aunque el número de análisis sea todavía bastante exiguo, una decena en total; sin embargo, como hemos podido comprobar en el capítulo dedicado al estudio de las escorias de hierro (Cap. 6.2.2), sí se ha detectado níquel en varias escorias de reducción en las que muchas de las inclusiones metálicas englobadas estaban formadas por aleaciones de hierro con níquel y, en la mayoría de los casos, también con arsénico y cobre.

Una situación parecida se ha documentado en dos yacimientos malagueños, el centro fenicio del Cerro del Villar, situado en la desembocadura del río Guadalhorce, y en Los Castillejos de Alcorrín (Manilva) (Renzi *et al.* en prensa_A), un centro indígena que presenta un fuerte componente fenicio. También en estos yacimientos se han analizado escorias de hierro que corresponden a subproductos de la reducción de minerales complejos de hierro, ricos principalmente en níquel y arsénico (Renzi *et al.* en prensa_B). Mineralizaciones de este tipo se conocen en varias minas de la provincia de Málaga, en particular en la Serranía de Ronda y en la Sierra Bermeja, unas zonas cercanas al yacimiento de Alcorrín, y también en la Sierra de Mijas, que se encuentra a una distancia relativamente corta (12 km) del Cerro del Villar (Romero 2003). Por el contrario, no se conocen depósitos de minerales complejos de hierro en la provincia de Alicante, y es interesante notar que el registro material de La Fonteta, especialmente el cerámico, parece sugerir que existen intensas relaciones comerciales entre este yacimiento y los centros fenicios de la provincia de Málaga. No sería pues de extrañar que en La Fonteta se estuvieran procesando minerales complejos de hierro de procedencia malagueña.

Esta circunstancia, que implicaría el transporte y el comercio de minerales y no de metales en bruto, ya no debe extrañarnos. A medida que progresan las investigaciones arqueométricas en la Península Ibérica, hay cada vez más elementos que apuntan a unas relaciones comerciales muy dinámicas, tanto entre yacimientos fenicios como entre estos centros y los asentamientos indígenas situados en zonas estratégicas para la explotación de recursos naturales de distinta naturaleza. En este sentido, los análisis de

los isótopos del plomo están proporcionando varias evidencias de relaciones comerciales a “larga distancia” dentro del territorio ibérico; por ejemplo, como se verá en el siguiente capítulo, el estudio de procedencia de algunos materiales de La Fonteta nos ha proporcionado evidencias suficientes para sugerir la explotación de galena procedente de algunas minas de Almería y no sólo de la más cercana región minera de la provincia de Murcia (Renzi *et al.* 2009).

En investigaciones futuras se intentará determinar si las escorias de hierro analizadas, procedentes de los tres yacimientos mencionados (Los Castillejos de Alcorrín, Cerro del Villar y La Fonteta), tienen una relación directa entre ellas y si el objeto de hierro-níquel F41734-1 puede relacionarse con las mineralizaciones complejas presentes en los depósitos de la provincia de Málaga. Si esta hipótesis no se confirmara, habría que plantearse la posibilidad de que esta pieza sea una importación de otra región geográfica en la que se hayan explotado mineralizaciones de hierro ricas en níquel, como podrían ser, por ejemplo, los depósitos niquelíferos de origen laterítico de Grecia (Photos 1989).

Como se ya se ha mencionado en el capítulo dedicado al estudio de la metalurgia del hierro (Cap. 6), las evidencias arqueológicas de la explotación de mineralizaciones de este tipo son muy escasas; alguna evidencia procede del yacimiento de Petres, de época helenística (II siglo a.C.), en Grecia septentrional. Allí se recogieron escorias con inclusiones metálicas hierro-níquel y un fragmento de lupia también rica en níquel (Photos *et al.* 1988). El contenido de este elemento detectado en las inclusiones de hierro de las escorias analizadas, que los autores identifican como de post-reducción, es muy variable, con inclusiones constituidas casi enteramente por níquel (hasta 97% Ni) y otras con contenidos del 2-4% Ni (Photos 1989: 411-412); el fragmento de lupia, encontrado en una vasija cerámica junto con varias herramientas de herrero, contiene una media del 3,2% Ni. Es interesante también destacar la total ausencia de níquel detectada en los análisis elementales de algunos artefactos de hierro de Petres (cinco pequeños objetos de uso cotidiano), al igual que en La Fonteta.

A la luz de estos resultados, los excavadores decidieron llevar a cabo una serie de experimentos reduciendo minerales lateríticos ricos en níquel para comparar los resultados obtenidos en condiciones controladas con los materiales arqueológicos de Petres. Los minerales de partida empleados para los experimentos tenían un contenido de níquel de entre 0,5-1,3% NiO, y tanto las lupias resultantes de las distintas

operaciones de reducción como las inclusiones metálicas atrapadas en las escorias presentan tasas de níquel muy variables. Las lupias tienen un rango de composiciones diferente según el experimento: los contenidos de níquel pueden oscilar de 0-17% Ni a 20-67% Ni en experimentos de reducción de minerales lateríticos con hematites, o de 3-6% Ni a 36-38% Ni en experimentos en los que se han reducido sólo minerales lateríticos (Photos 1989: 413, tabla 5). Asimismo, la variación de la composición de las inclusiones metálicas analizadas es muy considerable, habiéndose detectado cantidades de níquel de entre 0 y 67% Ni, cantidades de arsénico de 0,4-1,5% As y algo de cobre (0,2-0,3% Cu). Una de las lupias, con un 3-6% Ni, fue también forjada y su contenido final de níquel resultó ser de 0,5-2,8% Ni, habiéndose volatilizado gran parte de ese metal durante las operaciones de refinado y forja (Photos 1989: 415).

La composición global del objeto de La Fonteta podría ser compatible con el aprovechamiento de minerales de tipo laterítico como los de Grecia; sin embargo, considero que la hipótesis más probable es que se estuvieran aprovechando minerales peninsulares, ya que la presencia de escorias con inclusiones metálicas de composición similar a la de F41734-1 sugieren que se estaban reduciendo en los mismos yacimientos minerales complejos de hierro que podrían justificar su riqueza en níquel. A este propósito los resultados experimentales de la reducción de minerales lateríticos griegos nos proporcionan un dato interesante: los autores han podido comprobar que sólo las porciones de lupia con contenidos de níquel relativamente bajos (del orden de 0,5-3% Ni) pueden ser forjadas con cierta facilidad; las zonas de la masa metálica más ricas en níquel se rompen y se desprenden durante las operaciones de trabajo en caliente del metal, perdiéndose en la forja. De hecho, los mismos autores comentan que cuando encontraron estos restos, pensaron que se trataba de escorias hasta que se dieron cuenta al analizarlos de que se trataba de fragmentos de hierro con contenidos elevados de níquel, con un 15-20% Ni (Photos 1989: 418). Por tanto, hierros altamente niquelíferos no podrían ser trabajados debido a su elevada dureza y serían desechados, y este podría ser el caso de la pieza de La Fonteta. No se trataría pues de un objeto acabado sino de una masa metálica en bruto ya que su tasa de níquel, que alcanza casi el 20% de su composición, no habría permitido forjarlo para darle forma. Como parece sugerir la deformación de las bandas que constituyen la estructura del metal, es probable que intentaran trabajarlo pero sin éxito.

11. LEAD ISOTOPE ANALYSES: A STUDY OF PROVENANCE¹

11.1 SELECTION OF THE SAMPLES

Twenty-three archaeometallurgical samples from La Fonteta were selected for a provenance study by isotopic characterisation of lead. Among the specimens available, samples ascribed to different chronological phases of the settlement's occupation sequence were chosen, distinguishing between the two main occupation periods of the site: Archaic La Fonteta (AF) and Recent La Fonteta (RF).

This selection includes materials related to lead and silver production and copper alloys, in particular:

- 7 galena nodules;
- 5 metallic lead droplets;
- 1 fragment of litharge;
- 5 fragments of cupels;
- 1 metal item composed of a Cu-Pb alloy;
- 1 fragment of a copper ingot;
- 1 Cu-Pb melting waste;
- 2 fragments of Cu-Pb cupellation debris.

With regard to lead-silver metallurgy, the selection of samples was carried out in order to help clarify the relation between the findings within the *chaîne opératoire* for the production of these metals: galena as raw material, lead as the result of smelting, and the litharge and cupels fragments as secondary products of the cupellation (a metallurgical process for obtaining silver in which lead has a fundamental role as a collector of the noble metal).

The selection of the galena nodules is particularly significant in this research, as the mineral had been moved to a site without mineral resources in its vicinity. Furthermore, the suggested provenance of raw material is more reliable than that of other metallic wastes or debris of metallurgical processes in which various materials of different provenance could be mixed.

¹ The results of this research have been published in Renzi *et al.* (2009). I would like to thank Prof. R.M. Farquhar and Prof. R.M. Tosdal for sending me their articles; furthermore, I really appreciated Prof. Dr. Thilo Rehren's help, whose comments and advices have been fundamental for carrying out this research.

The analyses of metallic lead have been performed in order to verify if its isotopic composition was matching the galena, and thus to find out if the raw mineral collected at the site was potentially used for smelting. However, it should be noted that until now no lead slags have been identified at La Fonteta to support this hypothesis.

Preceding the lead isotopic study, ED-XRF and SEM-EDX analyses have been performed in order to determine the main elemental composition and the structural phases of the selected samples, as described in the Methodology chapter (Chap. 3).

Some of these samples were also analysed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), using an IRIS/AP-HR of Thermo Jarrell Ash Corporation, with a high-resolution Echelle Monochromator optics with a wavelength range of 800 to 175 nm. These analyses were performed by W. Steger and Dr. M. Prange at the *Archaeology and Material Science* Laboratory of the *Deutsches Bergbau-Museum* of Bochum.²

Elemental analyses showed a low silver content in the galena, the average being 170 ppm Ag; just one single nodule was identified as argentiferous (1700 ppm Ag). Excluding this last case, the general content of these samples would not have been considered valuable enough for silver extraction (Rehren and Prange 1998), therefore some litharge and cupels fragments were analysed in order to clarify whether a direct relation existed between this lead oxide, the galena nodules and the lead droplets. In other words, in view of the lack of argentiferous galena, we wanted to test whether the metallic lead could have been used to obtain silver through cupellation processes from other resources, such as cupro-argentiferous minerals. As we have already mentioned in the chapter dedicated to silver metallurgy (Chap. 5), the abundant presence of metallic and slaggy materials composed of Cu-Pb or Cu-Pb-Sn alloys, often with a very low tin content, seems to point in this direction.

The group of selected samples includes two fragments of a material that we labelled ‘Cu-Pb cupellation debris’ because of its composition, consisting mainly of

² The parameters used are:

- Generator power: 1.15 kW;
- Cooling gas flows: 14 L/min;
- Auxiliary gas flow: 0.5 L/min;
- Nebulizer gas pressure 30 psi;
- Absorption rate of solution: 2.4 mL/min.

Relative standard deviation of the elements is ranging between 0.1 to 2.9%, which is RSD up to 3%, depending on the element analysed.

lead and copper oxides (Table 11.1). With this regard, it is worth noticing again that, apart from containing relevant quantities of both elements, its crystal phases frequently appear in the cupellation hearth material used to oxidise argentiferous lead (Renzi *et al.* 2007).

Sample	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	CuO	PbO
F41778	1.9	4.5	14.5	nd	8.5	nd	23.6	47.0
F41716-1	1.2	4.0	17.1	0.6	7.5	1.2	22.1	46.3

Table 11.1. SEM-EDX results of the bulk analyses (wt %) of the Cu-Pb cupellation debris from La Fonteta analysed by LIA (nd: not detected).

Finally, a fragment of a copper ingot, a melting waste and a metallic item composed of a Cu-Pb alloy were also sampled. Their chemical compositions are shown in table 11.2.

Sample	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Sb	Sn	Ag	Bi	P	S	Total
F31123	0.002	0.014	60.7	<0.001	40.1	0.026	<0.001	0.092	0.029	<0.001	0.005	0.02	101.0
F11063	0.028	0.014	56.9	0.008	30.0	0.015	0.008	0.037	0.029	0.008	0.028	0.51	87.6
F1408	0.002	0.013	92.9	0.033	1.03	0.002	<0.001	<0.001	0.065	<0.001	0.004	0.84	94.9

Table 11.2. ICP-OES analyses. Chemical composition of the copper-based materials from La Fonteta analysed by LIA (wt %).

11.2 GEOLOGICAL FRAMEWORK

The geology of the Guardamar del Segura area (Alicante), where the Phoenician settlement of La Fonteta is situated, is characterised by Tertiary basins with rocks mainly formed by limestone, marls and sandstones.

As the metallogenic maps of the Alicante province show (IGME 1972-1973b), there are no important metalliferous sources in the immediate surroundings of the site. Within a radius of 30 km from Guardamar, northward in the Crevillente area (Alicante), some small massive deposits of iron assigned to the Jurassic period have been identified; westward, close to the Orihuela mountain range (Alicante), some iron mineralisations formed during the Triassic period. Moreover, in Santomera, also in the Orihuela area and included in the Alpujarride complex, stratigraphic deposits of Cu(Au) have been identified. However, no lead ores have been reported so far in the vicinity of La Fonteta (IGME 1972-1973a; Fig. 11.1).

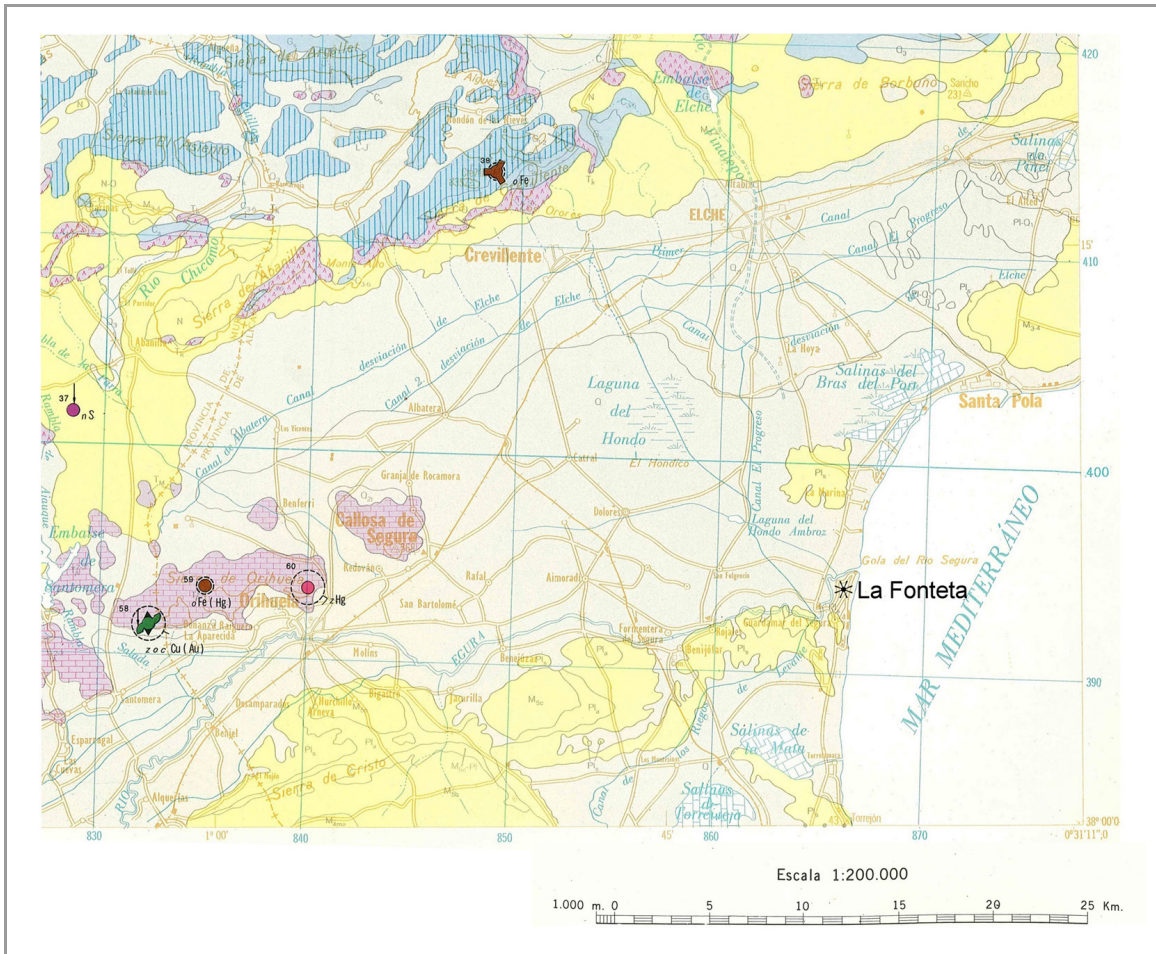


Fig. 11.1. Metallogenic map of the Elche area (Alicante), modified after IGME 1972-1973a. Scale 1:200.000.

The closest mineral resources (60-70 km; around 35-40 nautical miles) that could be used to obtain lead are the galena deposits of the Cartagena mountain range (Sierra de Cartagena-La Unión) and Mazarrón, both in the Murcia province (IGME 1972-1973c; IGME 1972; Fig. 11.2). This region is one of the most important mining districts of Spain, with important Pb-Zn-Ag deposits exploited since the pre-Roman period (Arana *et al.* 2005).

Another key mining district is located in the Almeria area; its mineral resources include important lead and copper mineralisations (IGME 1972-1973d; IGME 1972; Fig. 11.2). In spite of the greater distance between these mines and La Fonteta – approximately 300 km (approximately 160 nautical miles), compared to the 60-70 km that separate the site from the Cartagena mountain range – there are various elements that suggest a possible link between the Almeria area and the site, as we will see further on.

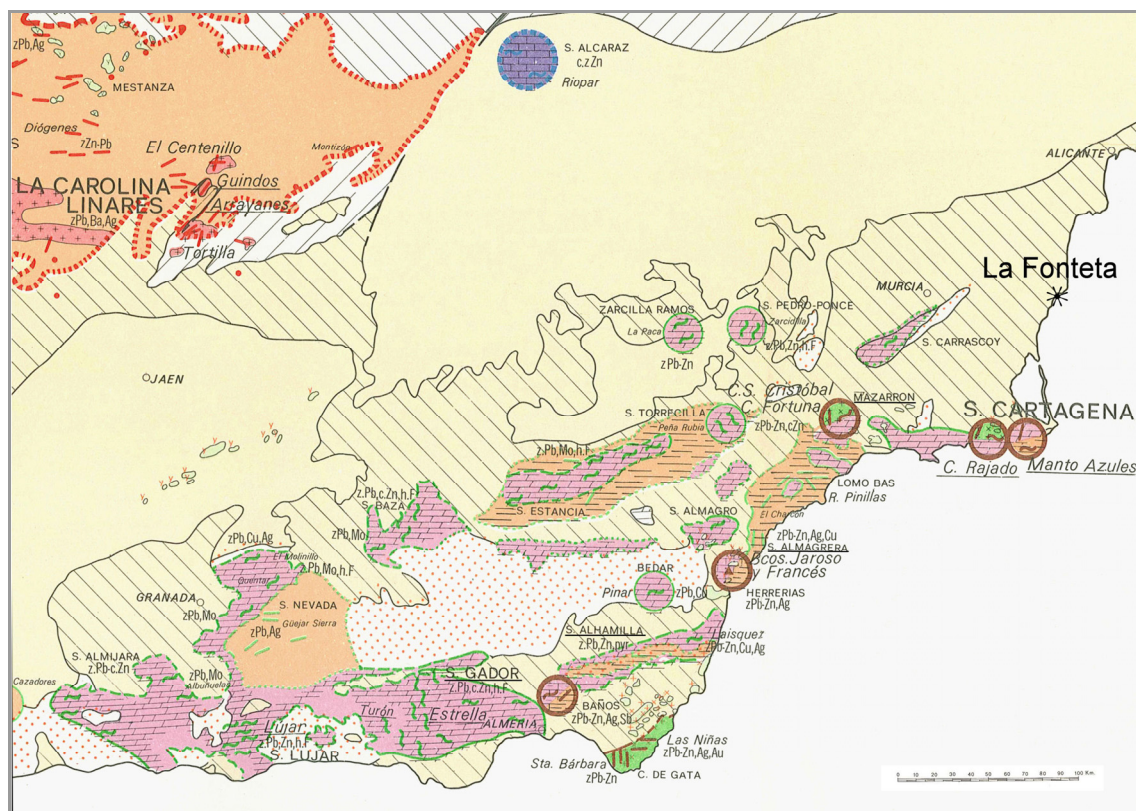


Fig. 11.2. Map of the Pb-Zn deposits in the south-east area of the Iberian Peninsula. Cartagena and Almería mining districts, modified after IGME 1972. Scale 1:1.500.000.

According to the study of geological relations and Pb-isotope ratios by Arribas and Tosdal (1994), the ore deposits of south-eastern Spain can be divided into three groups, based on metal association and mineralisation style.

The first group includes F-Pb-Zn-(Ba) strata-bound deposits hosted by Triassic carbonate rocks of the Alpujarride complex. The most important deposits of this group include the ones in Sierra de Gádor and Sierra Alhamilla, both in the Almería province.

The second group is constituted by polymetallic (Pb-Zn-Fe-Ag-[Ba-Cu-Sn-Sb]) hydrothermal vein- and manto-type deposits hosted by Palaeozoic to Triassic rocks of the Alpujarride and Nevado-Filabride complexes, by Tertiary sediments and by Miocene rocks of volcanic series. The principal deposits of this group are found in the Cartagena, Mazarrón – in the Murcia area – and Sierra Almagrera districts (Almería), along a narrow band parallel to the Mediterranean coast.

The last group includes the Pb-Zn-(Ag-Cu-Au) and Au-(Cu-Te-Sn) epithermal vein deposits of the Cabo de Gata (Almería) volcanic field. The studies of Arribas and Tosdal (1994) have shown the common origin of all the veins and strata-bound

polymetallic Pb-Zn-Fe-Ag-(Ba-Cu-Sn-Sb) hydrothermal vein deposits, regardless of the nature of the host rocks (Sainz de Baranda *et al.* 2003).

The potential for correctly interpreting the data obtained by lead isotope analyses of archaeological finds depends on the availability of comparative geological information. Many recent archaeological and geological studies provide useful information about lead mineralisations in the entire Mediterranean region, the main area of interest for our research.

The south-east of the Iberian Peninsula is characterised by data published by Stos-Gale *et al.* (1995), integrating the first analyses carried out by Graeser and Friedrich (1970). The Almeria province, in particular, has also been studied by Arribas and Tosdal (1994) and Dayton and Dayton (1986).

Data for the south-western part of the Iberian Peninsula is provided by Hunt's study (2003), whose archaeological orientation is integrated with the geological information published by Marcoux (1998) and Pomiès *et al.* (1998) for the Pyritic Belt, and by Tornos and Chiaradia (2004) for the Ossa Morena mines. An isotopic study of copper ores from the Sierra Morena has been recently carried out by Klein *et al.* (2009).

Studies done by Santos Zalduegui *et al.* (2004a) and Lillo (1992) focus on the Linares-La Carolina mines, La Alcudia valley and Los Pedroches. From the north-eastern part of the Iberian Peninsula, there is information about the Catalan Coastal Range published by Canals and Cardellach (1997) and lead isotope data obtained by the project on pre-Roman silver in Catalonia, published in Montero Ruiz *et al.* (2008; 2009a; 2009b).

Excluding the studies carried out in the Iberian Peninsula, lead isotope data available for the Western Mediterranean is very scarce. Algeria is characterised by the analysis of a single geological sample of galena (Dayton and Dayton 1986), while a more exhaustive isotopic characterisation has been carried out in Morocco on a massive sulphide deposit of Draa Sfar and on Ag-Hg mineralisations at Zgounder (Jebel Siroua, Anti-Atlas) (Marcoux and Wadjinny 2005; Marcoux *et al.* 2008).

Analyses of Roman metal objects from the archaeological site of Carthage and of some galena nodules collected in local mining resources in the Tunis area have been carried out by Farquhar and Vitali (1989) and more recently by Skaggs *et al.* (2012).

In the central Mediterranean, Sardinia (Italy) played an important role in the commercial routes of the Mediterranean area and has been the focus of much geological and archaeological work, mainly due to the studies of Swainbank *et al.* (1982), Stos-Gale *et al.* (1995), Valera *et al.* (2005), and of other authors such as Ludwig *et al.* (1989) and Boni and Köppel (1985).

Data on Tuscany (Italy) has been collected and published by Stos-Gale *et al.* (1995), while the data on southern France used in our research was taken from studies by Sinclair *et al.* (1993), Le Guen *et al.* (1991), Brevart *et al.* (1982) and, more recently, by Baron *et al.* (2006).

11.3 DISCUSSION OF THE RESULTS

The whole study of the archaeometallurgical material from La Fonteta includes 23 samples related to silver-lead, copper-silver-lead and copper-based metallurgy.

The distribution of samples according to the type of material, recovery context and chronology, together with their isotopic values, can be seen in Table 11.3. The dating of the samples is uncertain in some cases, as they were recovered from turned-over layers. In effect, some structures of the site were used as waste deposits in the phases subsequent to their occupation, as in Sectors 5, 7 and 8. But this is not the case of the waste deposits dug up in Sector 54-1 where the archaeometallurgical material was sealed by the foundational layers of the walls surrounding the site.

According to the results presented in the lead isotope diagram (Fig. 11.3), the distribution of samples based on their lead isotope ratios allowed identification of some materials' association. Five groups could be identified in total, and they indicate a dynamic and differentiated metallurgical production for the chronological period of interest to our research. Three groups include the majority of the samples.

The assignation of samples to Group 1 and Group 2 seems to be clear. However, if we take into account the standard deviation of the measurements as represented in the error bar of the diagram in figure 11.3, it could be argued that groups 1 and 2 form a single group. In order to determine whether these are separate groups, we carried out a comparison of multivariate means using the Hotelling's T² Test. The results showed a value of 8.9 that has an F distribution of 5 and 85 degrees of freedom, with a p-value of 0.000001.

Sample	Object	Sector	Chronology	Phase	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
F-25090	Galena	5B habitat	RF	IV/VI	2.1027	0.8548	18.3254	15.6640	38.5321	0.0546
F-62073	Galena	1N waste deposit	AF	II	2.1030	0.8549	18.3250	15.6660	38.5383	0.0546
F-12752	Galena	14N/E habitat	AF	II	2.1020	0.8546	18.3170	15.6545	38.5031	0.0546
F-41567	Galena	54S/W waste deposit	AF	I	2.1032	0.8548	18.3348	15.6733	38.5613	0.0545
F-35287	Galena	54N waste deposit	AF	II	2.1025	0.8548	18.3197	15.6601	38.5169	0.0546
F-62026	Galena	1W waste deposit	AF	II	2.1021	0.8549	18.3123	15.6548	38.4944	0.0546
F-41710	Argentiferous galena	54S/W waste deposit	AF	I	2,0875	0,8376	18,7440	15,7008	39,1272	0,0534
F-41536	Lead	54S/W waste deposit	AF	I	2.1021	0.8547	18.3193	15.6575	38.5094	0.0546
F-41722	Lead	54S/W waste deposit	AF	I	2.1019	0.8547	18.3163	15.6551	38.4983	0.0546
F-50306	Lead	1W waste deposit	AF	II	2.1024	0.8549	18.3152	15.6572	38.5066	0.0546
F-11000	Lead	8B/C habitat	RF	VI	2.1010	0.8545	18.3354	15.6677	38.5222	0.0545
F-11113	Lead	8B/C habitat	RF	VI	2.0834	0.8404	18.6547	15.6776	38.8659	0.0536
F-25081	Litharge	8B/C habitat	AF	III	2.0863	0.8379	18.7107	15.6779	39.0359	0.0534
F-1401	Cupel	7E habitat	RF	VI	2.0870	0.8382	18.7342	15.7030	39.0989	0.0534
F-62053	Cupel	65 ext. walls	RF	VI	2.0845	0.8371	18.7282	15.6773	39.0392	0.0534
F-25089	Cupel	5B habitat	RF	V/VI	2.0858	0.8381	18.7347	15.7022	39.0760	0.0534
F-41540	Cupel	54S/W waste deposit	AF	I	2.0835	0.8375	18.7229	15.6806	39.0094	0.0534
F-25097	Cupel	5A habitat	AF	III/IV	2.0861	0.8379	18.7211	15.6866	39.0538	0.0534
F-41778	Cu-Pb cupellation debris	54S/W waste deposit	AF	II	2.1053	0.8558	18.3569	15.7098	38.6462	0.0545
F-41716-1	Cu-Pb cupellation debris	54S/W waste deposit	AF	I	2.1019	0.8547	18.3374	15.6734	38.5430	0.0545
F-11063	Cu-Pb item	14N/W habitat	AF	III	2.1063	0.8558	18.3737	15.7244	38.7010	0.0544
F-31123	Cu-Pb melting waste	5A/S habitat	AF	III/IV	2.1053	0.8557	18.3672	15.7165	38.6693	0.0544
F-1408	Copper ingot	A3 survey	RF	VI	2.1109	0.8649	17.9473	15.5221	37.8857	0.0557

Table 11.3. Lead isotope data of the materials from La Fonteta.

Therefore, statistically there are significant reasons to reject the null hypothesis (H_0 = means is equal, that is the existence of one single group), and thus accepting that the mean vector of Group 2 is different from the one of Group 1.³

Group 1 is made up of all the non-argentiferous galena nodules, four of the lead droplets and one fragment of Cu-Pb cupellation debris; its $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratio is between 2.1010 and 2.1032. Group 2 includes the copper-based metallic alloys and the second fragment of Cu-Pb cupellation debris, with $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratios between 2.1053 and 2.1063. The litharge and the cupels fragments, together with the argentiferous galena nodule, form the third group, with $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratios between 2.0835 and 2.0870. The last two groups are represented by one sample each, namely a metallic lead droplet ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratio of 2.0834) and the copper ingot fragment ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratio of 2.1109). Isotopic composition of these two samples is different enough from the other groups to carry out their provenance analysis separately.

In general, the provenance of the different groups was established by geographic region. A concrete mining region was assigned as a possible origin only when the lead isotope ratios are consistent with the comparative geological data available.

Data is presented in complementary bivariable diagrams of lead isotopic ratios ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs. $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs. $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), in order to reveal the association between the different groups and the mining areas put forward as possible sources.

The lead isotope study of the first group of samples (Fig. 11.3) shows its members coming from the same area, allowing us to directly relate the raw material (galena) to the finished product (lead metal). Furthermore, Group 1 also includes a fragment of Cu-Pb cupellation debris. This group can be assigned to the mines in the Almeria province, in particular to Sierra de Gádor or Sierra Alhamilla (Fig. 11.4).

In both mining areas, mixed deposits with lead and copper mineralisations are present. Sierra de Gádor mainly consists of dolomites and limestone, in which stratiform mineralisation of copper carbonates (such as azurite and malachite) and lead

³ I want to thank Dr. Juan Manuel Vicent and Mr. Juan Manuel Rojo for their help with the statistical test.

and zinc sulphides (as galena and sphalerite) are embedded (Martín-Rojas *et al.* 2007). Dolomitic limestone, mica schist and phyllites with iron mineralisations, galena, sphalerite and chalcopryrite, often associated with barite, make up the geological composition of the Sierra Alhamilla area (Gallegos Díaz 1986).

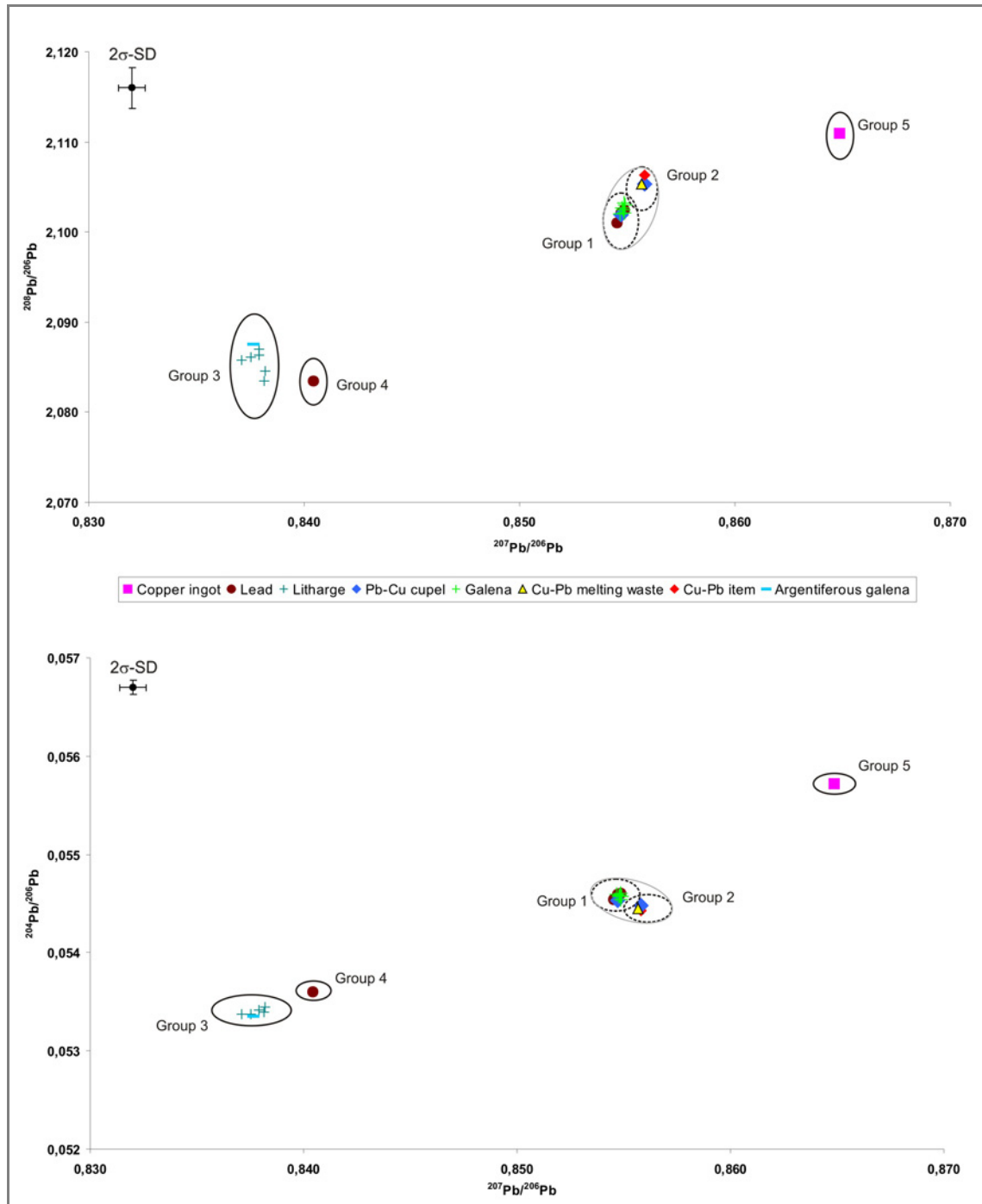


Fig. 11.3. Lead isotope ratios of the archaeometallurgical findings from La Fonteta. Groups of materials.

The ratios of the Cu-Pb cupellation debris fragment included in Group 1 coincide with geological data from Sierra de Gádor, whereas the copper-based items of Group 2 form a tight cluster in the diagram but do not coincide with any specific mining area (Fig. 11.4).

According to the principles described by Stos-Gale (2001), no mineralisations are known for Group 2 to suggest a provenance hypothesis of ‘mixing line’ with lead likely originating from the Gádor area. This mixing would be an interesting option if we consider that the other Cu-Pb cupellation debris can be clearly included in Group 1. However, at present, it seems we are dealing with ore deposits whose origin is still unknown, although its proximity to lead isotope ratios of Group 1 could suggest that it is a mining area close to the south-east or, at least, an area of similar geological age.

A global comparative analysis was also performed for Group 3, formed by the argentiferous galena nodule, five fragments of cupels and the litharge. As with Group 2, no exact match was found but lead isotope ratios of these samples are similar to those of mineralisations from the south-east area of the Iberian Peninsula. Their isotopic values seem to be generally linked to the mining deposits of Cartagena-Mazarrón (Murcia), an area geographically close to La Fonteta (Fig. 11.4).

The data obtained matches results of the analyses of fragments of two litharge cakes (probably cupels, see Chap. 5) that were part of the cargo of the Phoenician shipwreck found in the Puerto de Mazarrón area (Cartagena). The shipwreck samples were delivered for their analysis to S. Rovira Llorens, whom we thank for offering us the possibility of including the results in this thesis.

The ‘Phoenician ship 2’, dated to the 7th century BC, sank in the waters of Playa de la Isla with a cargo of some pottery and more than 1000 kg of cupels and litharge fragments (Negueruela *et al.* 2004). Our data suggest that these materials found in the shipwreck from Playa de la Isla and those at La Fonteta come from the same mining area (Fig. 11.4). However, as the diagram shows, none of these samples is fully consistent with the comparative data for mineralisations available for the Murcia province. Both minerals from the Sierra de Cartagena area and Mazarrón are close to the litharge and cupels samples but do not completely coincide with this third group.

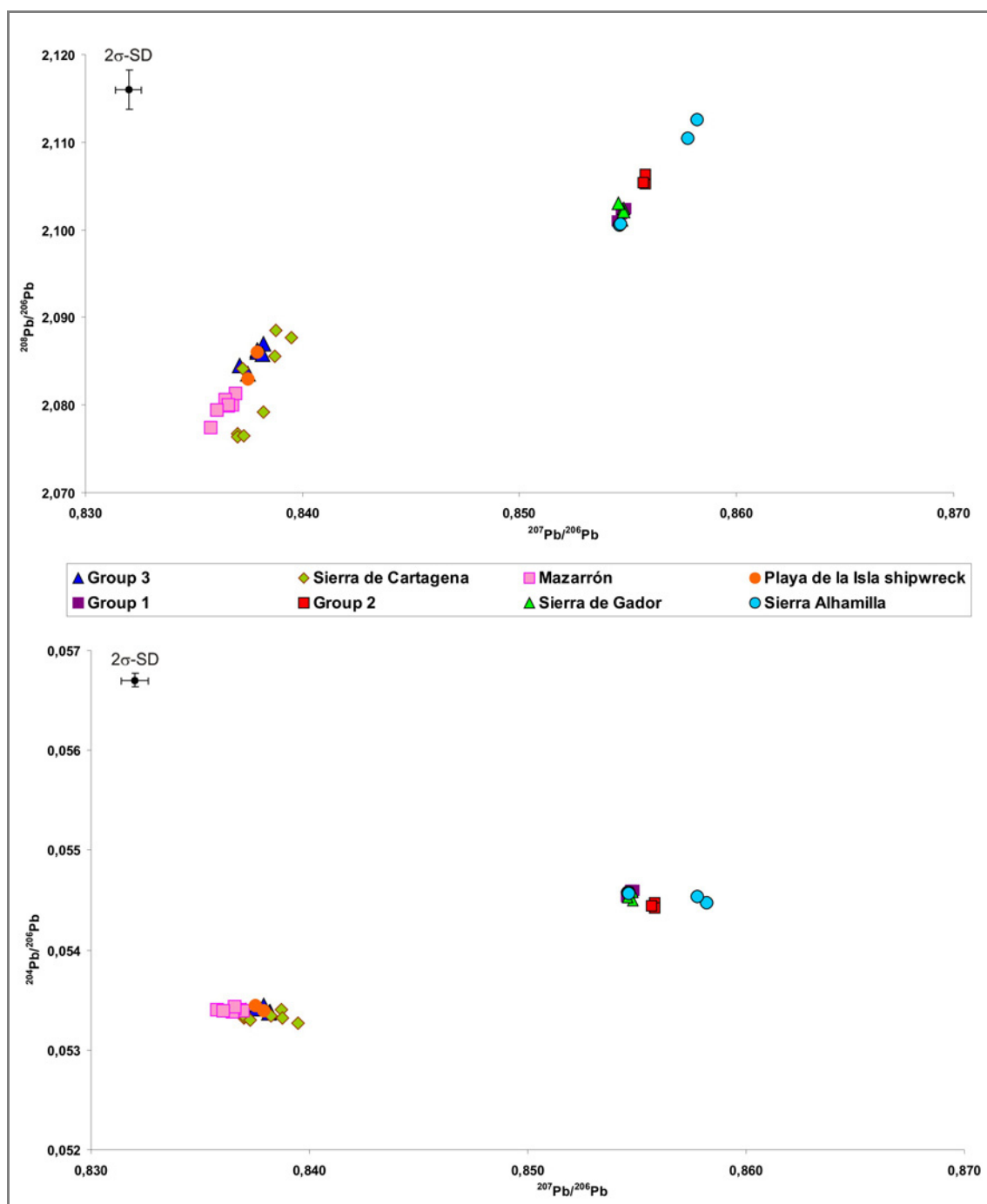


Fig. 11.4. Lead isotope ratios of groups 1 and 2 compared with ores from Sierra de Gádor and Sierra Alhamilla (Almeria); lead isotope ratios of Group 3 and Playa de la Isla shipwreck compared with galena ores from Sierra de Cartagena and Mazarrón (Murcia).

Furthermore, some materials from Ampurias could originate from the same geological area (Montero Ruiz *et al.* 2008: 315). Lead objects, a cupel and a silver coin have isotopic values that are similar to the samples forming Group 3. Moreover, some of the lead ingots recovered from the Mahdia shipwreck also show an isotopic signature

similar to the La Fonteta cupels and litharge (Begemann and Schmitt-Strecker 1994), but they do not provide any further information for determining the provenance of the raw material. It is worth noticing that the litharge and cupels fragments from La Fonteta are not an isolated case; there are numerous materials probably originating from areas of this south-eastern mining region that have yet to be isotopically characterised. This area could have been an active producer of lead and silver, at least from the 8th to the 1st century BC.

The complexity and varied mineralogy of the deposits in the Murcia mining district make it difficult to carry out an exhaustive characterisation of the area. Moreover, there is no data available that can cover the breadth and variety of local mining resources. For example, the Cabezo de Aborica (Bolnuevo) mines, the Lomo de Bas-Águilas (Sierra del Cantar) or Sierra Espuña mining areas have not been characterised yet; the characterisation of the mining deposits of both Murcia and Almeria provinces carried out to date is insufficient for our purposes.

The isotopic results of Group 4, consisting of a single lead droplet, are not consistent either with minerals from the Gádor-Alhamilla area or from Cartagena-Mazarrón. They also do not coincide with other comparative geological data available for the Iberian Peninsula, or with any Iberian or extra-peninsular geological deposits known. Even if more mineralisations should be analysed to define its provenance, the diagram shows that the sample presents an alignment with some geological samples. This linear distribution of points suggests this metal could be the result of a lead mixing, melting together metals from different areas (Fig. 11.5). According to the ‘mixing line’ explained by Stos-Gale (2001), among the possible provenances we believe this lead droplet could be the result of mixing lead coming from the Sierra de Gádor – identified as the possible source for Group 1 – with lead from Sierra Almagrera (Almeria).

The fifth and last group also consists of a single sample, a copper ingot fragment. Its lead isotope ratios do not seem to coincide with any mining region of the Iberian Peninsula characterised until now, being quite distinct from the peninsular geological deposits, with the exception of some mines of the Ossa Morena zone (Tornos and Chiaradia 2004; Klein *et al.* 2009). Nevertheless, the sample does not match the isotopic

ratios of the geological data characterising this region (Fig. 11.6). Hence, Ossa Morena has to be excluded as its possible provenance area. The position of this sample in the diagrams does not suggest either, as in the last case, the hypothesis of a metal mixing from different geographical provenances.

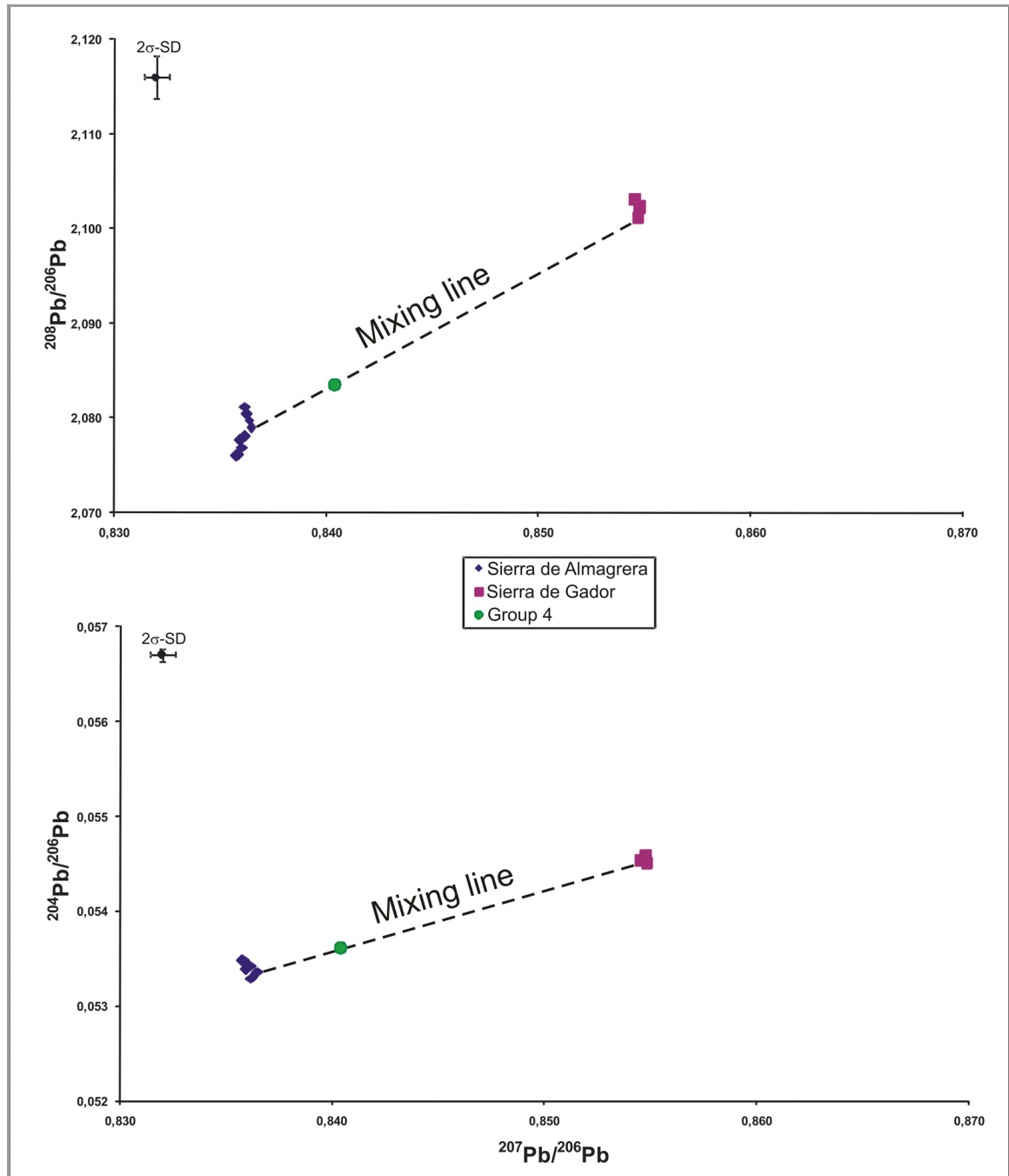


Fig. 11.5. Lead isotope ratios of ores from Sierra Almagrera, Sierra de Gádor and the lead droplet from La Fonteta (Group 4): the mixing principle (Stos-Gale 2001).

Plotting all the Iberian pre-Roman metal objects in our database in order to test whether there was any coincidence with some of them showed that the ingot fragment is not consistent with any of these objects, but falls in an empty area of the diagram (Fig. 11.6). Therefore, an extra-peninsular origin could be assumed for this sample.

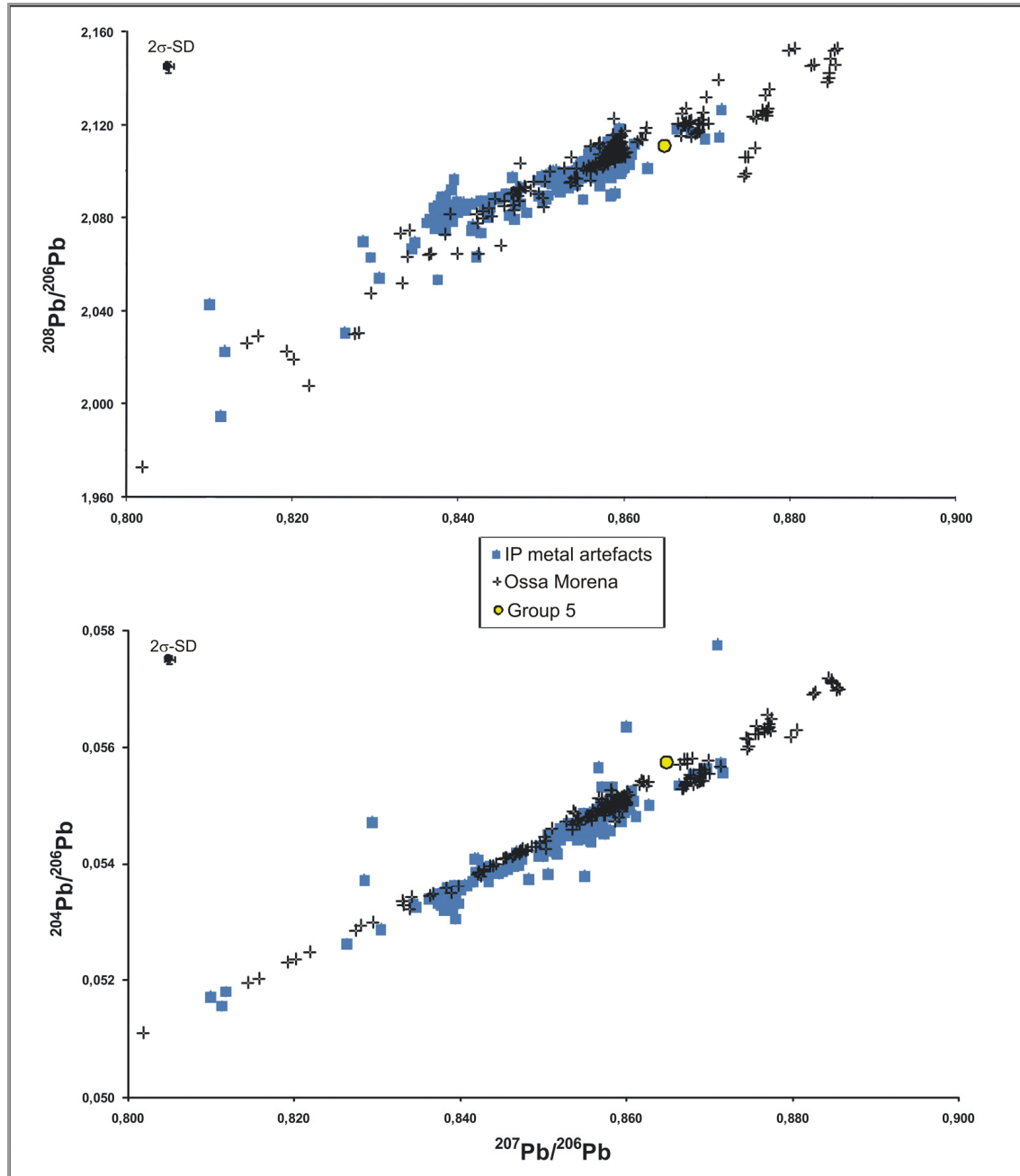


Fig. 11.6. Lead isotope ratios of ores from Ossa Morena and Group 5; lead isotope ratios of pre-Roman metal artefacts from the Iberian Peninsula compared with Group 5.

To date, only two areas present isotopic values close to the ratios of the copper ingot fragment: the Wadi Arabah (Gale *et al.* 1990; Hauptmann *et al.* 1992; Hauptmann

2007) and some mines from Sardinia (Valera *et al.* 2005; Begemann *et al.* 2001). Archaeological and geological samples from two ancient copper mining areas in the Wadi Arabah have been analysed: Timna in Israel and Faynan in Jordan, situated west and east of the Wadi, respectively. Both areas of the Wadi once formed a single geological deposit and they consequently present a similar although very wide range of isotopic values (Hauptmann *et al.* 1992). This similarity can make an exact distinction between the possible provenance of a sample from the Faynan or the Timna area more difficult in some cases (Artzy 2006).

The case of Sardinia is also complex (Valera *et al.* 2005), as there are various mines presenting lead isotope ratios compatible with the analysed copper ingot. These mines belong mainly to two large mining regions, the Sulcis-Iglesiente in the Cagliari province (Reigraxius, Perda, Arenas, Sa Duchessa, Montevecchio and San Giorgio mines) and the Nuoro province, in the northern part of the island (Funtana Raminosa and Canale Barisone-Torpè mines).

According to the lead isotope diagram of geological data from these two mining areas, some Sardinian mineralisations display a partial overlap with the isotopic fields of the Wadi Arabah, although this overlap is minor with Faynan (Fig. 11.7).

Moreover, the actual isotopic values of the ingot fragment fall into an intermediate area between the mineralisations of the two regions, but do not coincide with any of them. It is also worth noticing that the sample from La Fonteta seems to show a slightly more consistent relation to the Timna area. In any case, the problem of assigning the provenance of a sample to Sardinian or Wadi Arabah mineralisations is not an isolated scenario. A similar situation occurred when studying some copper-based objects coming from Tel Jatt in Israel (Artzy 2006).

The chemical composition of the ingot shows proportions of elements compatible with data provided by Hauptmann (2007: 79) for Timna and Faynan ores, including the lead. Nevertheless, the high lead content (>1%) can also appear in some copper mineralisations from Sardinia (Begemann *et al.* 2001: 75, table 5). Yet, at present, there are no chemical reference analyses available for trace elements of Sardinian copper ores. Therefore, for the time being, the study of these elements does not provide any valid evidence to determine the sample's provenance.

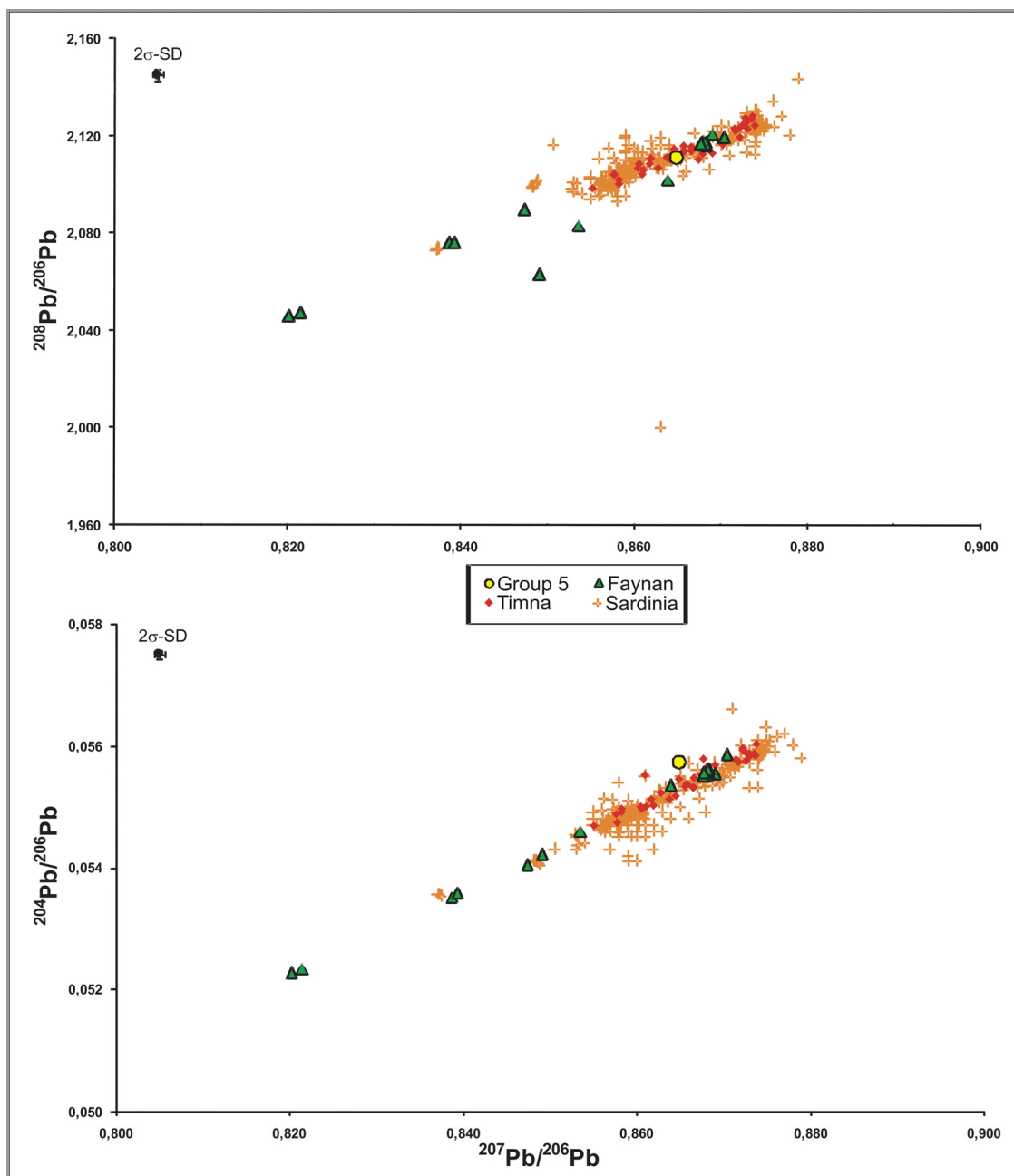


Fig. 11.7. Lead isotope ratios of Timna, Faynan and Sardinia ores compared with Group 5.

11.4 TECHNOLOGICAL INTERPRETATION OF THE SAMPLES

In order to clarify the groups and nature of the materials analysed, the metallurgical processes they are related to must be briefly mentioned. As we have already seen elsewhere (Chap. 5), according to the results of ED-XRF analyses carried out on the galena samples, with just one exception, the nodules collected at La Fonteta

are not argentiferous. Therefore, this mineral is not related to the production of silver; it was imported only to produce lead, as the lead isotope ratios of the metallic lead droplets seem also to confirm, showing clear coincidence with the isotopic values of the galena (Fig. 11.3). It is also worth noticing that the silver content of these lead droplets (lower than 120 ppm in all the samples analysed) is consistent with the composition of the galena.

Regarding the ‘Cu-Pb cupellation debris’, as mentioned elsewhere, we considered the hypothesis that these materials could be the secondary product of operations for extracting silver from cupriferous ores. These sub-products, formed mainly by copper-lead oxides, could be reduced again to metal or employed to produce ternary bronzes by adding some tin-rich material. The presence at La Fonteta of various Cu-Pb metallic masses – such as the above mentioned copper-lead alloy F31223 –, ternary bronzes, Cu-Pb and Cu-Pb-Sn slags seems to point to this hypothesis (Renzi *et al.* 2007). Consequently, the analysed copper-based alloys could be indirectly related to these processes for obtaining silver by exploiting cupro-argentiferous ores.

Then, if we accept that our samples are the secondary product of this kind of operations for producing silver, the fragment of Cu-Pb cupellation debris included in Group 1 could corroborate that the galena was exploited to obtain lead and that this lead could have been used in the extraction of silver from complex Cu-Ag ores. However, there is no clear evidence to establish a possible technological relation between the materials from Group 1 and Group 2. At this point, Group 2 material has to be assumed to originate from a different mining area whose provenance cannot be defined yet.

The litharge and the cupels fragments forming Group 3 are certainly related to metallurgical activities for obtaining silver. As we have seen for the previous group of materials, the desilvering of argentiferous ores (generally galena) produces a metallic bullion composed of lead and silver, and lead oxide (litharge) and cupellation hearth material as secondary products. The isotopic study of the litharge and cupels samples shows that their provenance is different from that of the materials in Group 1. This is consistent with the suggestion that the galena nodules found at La Fonteta were not used as a source of silver, as they do not contain sufficient amounts of the precious metal.

Yet, the presence of cupels and litharge at La Fonteta does not necessarily imply they were producing silver *in situ*, as this material could have been imported for different uses (as a source of lead, for medical uses, as a pigment, etc.; see Renzi *et al.* 2009: 2594). Long distance transportation of cupellation subproducts is documented by the discovery of the above mentioned Phoenician shipwreck from Puerto de Mazarrón, Cartagena (Negueruela *et al.* 2004); the isotopic composition of the materials forming its cargo is similar to the one of the litharge and cupels from La Fonteta. Still, the presence at the site of a nodule of argentiferous galena whose lead isotope values match the same mining region, suggests that operations for extracting silver from plumbo-argentiferous ores were also carried out at La Fonteta and that the cupels fragments and the litharge found at the site probably were not imported.

The presence at La Fonteta of a copper ingot can be easily explained. During this chronological period, the production of binary and ternary bronzes was widespread across the settlement, and the manufacture of copper objects is also documented.

11.5 FINAL DISCUSSION

The study of metallurgical finds from La Fonteta by lead isotope analyses allows us to explore some chronological aspects of raw material supply for lead and silver production. In particular, this study assigns the mineral exploitation mainly to two different mining regions, excluding the copper ingot.

According to the currently available data, it can be suggested that during the archaic phase (AF) the Phoenicians were exploiting galena from the Almería mining area to obtain lead, most likely from the Sierra de Gádor or Alhamilla. In this first period, the inhabitants of La Fonteta were probably also exploiting cupro-argentiferous ores coming from this area; unfortunately, the origin of these minerals cannot be specified further. Work is in progress to understand the possible technological relationship between these two groups.

In this regard, it is worth mentioning that the Phoenician settlement of Abdera (Adra) is situated at the estuary of the Adra River, the natural route to and from the

mining resources of the Sierra de Gádor. This site has also provided various archaeometallurgical materials (Suárez Márquez *et al.* 1989; Carpintero 2009), and may have served as a link or trading point to La Fonteta.

From phases III-IV – corresponding to the transition between the two main occupation periods of the site, Archaic La Fonteta and Recent La Fonteta – a major restructuring of the site occurred, as shown by the construction of the walls. This could have coincided with a major change in raw material supply and technological activity. To date, the recent phase has yielded only a limited number of archaeometallurgical materials. No galena or metallic lead have been found that could be clearly ascribed to RF. Lead fragments coming from later stratigraphic levels cannot be ascribed to a reliable chronology due to their disturbed recovery contexts; some of these layers are earth deposits that have been turned over, filling levels or waste deposits.

Of the litharge/cupels finds, two fragments belong to RF, three to the transition phase and just one fragment together with the argentiferous galena nodule to AF. The isotopic study of these samples shows that during the entire occupation sequence of the site no changes have been documented for the provenance area of the raw material employed for their production. For all the cases studied until now, the Murcia province appears to be the most probable mining region for the origin of these materials.

The current collection of materials and isotopic data suggests that in the transition phase (III-IV) the use of galena and lead from the Almeria province gradually diminishes, until its complete disappearance in subsequent phases. According to the provenance of the litharge and cupels fragments analysed, these resources would be substituted in a more consistent way by the minerals of the Murcia region; these ores were more abundant, easier and cheaper to exploit as they did not need any lead addition to extract silver.

This change in the mineral supplying area and the associated technological changes are also indicated by the absence of Cu-Pb cupellation debris in the recent period of La Fonteta.

According to the results obtained so far, the most probable hypothesis seems to be that from the transition period (phases III-IV) between AF and RF onward, the

processing of cupro-argentiferous ores and lead and galena from the Almeria province at La Fonteta ceased or was drastically reduced.

The copper ingot fragment was found in one of the first surveys performed at La Fonteta, in a deposit that was turned over due to its use as a waste deposit. Therefore, its date cannot be precisely established, even if it was initially ascribed to phase VI (RF, first half of 6th century BC). The possibility that this fragment belongs to an earlier period cannot be excluded, as a similar find was collected in another sector of the site and was dated to phase III (AF, mid-7th century BC).

The provenance of this ingot sample has not been identified with certainty. At the present stage of research on isotopic characterisation of Iberian copper ore deposits, the data available does not suggest a peninsular origin for this sample. Instead, it seems to point toward two possible areas of origin: Sardinia or the Wadi Arabah, in particular the Timna region. Both possibilities are quite consistent with the historical context of the Phoenician site of La Fonteta. In any case, for the time being it can be safely affirmed that the copper ores used for producing the ingot are not related to the geological area exploited for the other groups of materials analysed. Thus, the suggested exploitation of argentiferous copper minerals during AF would have been aimed mostly at silver production, with copper being only a by-product, supplementing imported ingot copper from elsewhere.

In conclusion, the provenance study of 23 samples of different typology (litharge, cupels, lead, galena and copper-based materials) collected at La Fonteta indicates the use of at least five clearly differentiated mineral sources.

1. The first can be related to mineralisations of the Almeria province, but it has not been possible to specify whether they were exploiting Sierra de Gádor or Sierra Alhamilla ores, or resources from both areas. This source was mostly used during the archaic phase of La Fonteta to provide low-silver galena and lead metal.
2. Another source, supplying the copper-based material in Group 2, cannot be geographically located, even if it corresponds to a mining area with isotopic values close to those of Sierra de Gádor-Sierra Alhamilla, presumably in the

same Almeria mining region as Group 1. Its exploitation is predominant during the Archaic La Fonteta period, and is potentially linked to the use of lead and galena of Group 1.

3. The third source, our Group 3, matches the Cartagena-Mazarrón mining district, and is represented at La Fonteta by an argentiferous galena nodule and by litharge and cupels fragments. This area seems to have been exploited during the entire occupational sequence of the site.
4. The fourth source matches minerals from Sierra Almagrera (Almeria). At La Fonteta, a single lead droplet can be linked to this source, if we consider the hypothesis of mixing lead from this area with lead from the Sierra de Gádor.
5. Finally, the copper ingot seems to come from an extra-peninsular source; its isotopic ratios are close to the values of mineralisations in Sardinia and Timna.

Although the number of analyses available is still limited and the sampling is not sufficient to characterise the entire collection of materials from La Fonteta, this provenance study reveals a complex and dynamic framework of Phoenician metallurgy and commercial economy between the 8th and the 6th century BC.

12a. CONCLUSIONES

A través de los distintos capítulos presentados en esta Tesis, hemos ido analizando y describiendo los diferentes aspectos de la metalurgia fenicia de época arcaica mediante el estudio del variado conjunto de materiales de La Fonteta relacionados con actividades metalúrgicas tanto para la producción de metales de base cobre (cobre-plomo, bronce binarios y ternarios), de plomo y plata, como para la producción y forja de hierro.

Este análisis detallado de cada uno de los elementos descritos nos permite realizar una valoración general del nivel tecnológico alcanzado por los fenicios de Occidente y destacar las aportaciones del yacimiento de La Fonteta dentro de este panorama.

Partiendo de la idea generalmente aceptada de la importancia de la metalurgia como uno de los motores del proceso colonial y de la escasez de trabajos especializados sobre materiales relacionados con las actividades de producción de metales llevadas a cabo en los asentamientos coloniales o de influencia fenicia –descritas y pormenorizadas en el Capítulo 1 sobre el estado de la cuestión–, el estudio analítico de los materiales de La Fonteta supone un cambio significativo en el conocimiento de estas actividades y nos permite destacar procesos metalúrgicos completamente innovadores y desconocidos.

La idea de una transferencia tecnológica directa desde los fenicios de Oriente al mundo colonial occidental se ve cuestionada por las evidencias arqueológicas actuales. Por un lado, la escasez de hallazgos arqueometalúrgicos en la madre patria y por otro lado, la falta de estudios de los materiales disponibles, limita el cuadro comparativo. Sin embargo, los datos conocidos para periodos anteriores y para zonas geográficamente próximas o conectadas culturalmente, sugieren que, entre los procesos tecnológicos documentados en la Península Ibérica durante esta época colonial, se encuentran tanto elementos importados como otros que pueden referirse más directamente a una integración tecnológica con el sustrato indígena; asimismo, se han documentado procesos innovadores que podrían haber surgido como adaptación a los recursos mineralógicos del territorio ibérico.

En las siguientes páginas se irán sintetizando los aspectos principales que caracterizan la metalurgia fenicia para la producción de los distintos metales.

Llama la atención que el yacimiento de La Fonteta esté situado en una zona en la que no se conoce la presencia de recursos minerales, por lo menos en su entorno inmediato. Las mineralizaciones más cercanas se encuentran en un radio de aproximadamente 30 km; hacia el norte, en la zona de Crevillente (Alicante), se mencionan unos pequeños depósitos de hierro, mientras que hacia el oeste, en la zona próxima a la Sierra de Orihuela (Alicante), se conocen mineralizaciones de hierro y depósitos de cobre con oro. Por lo que concierne al plomo, los recursos más cercanos están a unos 60-70 km (unas 35-40 millas náuticas), en los distritos mineros de la Sierra de Cartagena-La Unión y de Mazarrón, en la provincia de Murcia. Por tanto, la localización de La Fonteta –instalado en la costa y junto a la desembocadura de un río– se debe principalmente a una posición estratégica para la navegación y el comercio que le permitía actuar no solamente como centro receptor sino tener también un papel de redistribución de bienes tanto hacia el interior como hacia otras zonas de interés, estableciendo relaciones comerciales más amplias por vía marítima.

A este propósito, no parece casual su ubicación enfrente de la Sierra de Crevillente donde, durante el Bronce Final, se instaló una de las principales ciudades indígenas de la zona, Peña Negra, que, con sus oficinas metalúrgicas, constituyó probablemente un factor desencadenante para la instalación de un centro fenicio en la costa (González Prats 1990: 3). De hecho, entre los siglos VIII y VII a.C., en el centro indígena de Peña Negra se asiste a la instalación en uno de sus barrios de un pequeño taller artesanal totalmente fenicio dedicado a la producción de cerámica y a la orfebrería. Esta importante ciudad orientalizante, identificada con la *Herna* mencionada en la *Ora Maritima* de Avieno, constituía un floreciente emporio en el que confluían varias rutas comerciales y gentes de diferente procedencia (González Prats *et al.* 1997: 13).

A pesar de la ubicación de La Fonteta orientada principalmente al ámbito comercial, destaca el gran volumen y la variedad del conjunto de materiales metalúrgicos encontrados. Evidencias de actividades para la producción de metales han sido documentadas en todos los cortes excavados y, de acuerdo con los datos actualmente disponibles, parece que la metalurgia fue un aspecto importante en la economía del yacimiento durante toda la secuencia de ocupación de La Fonteta, aunque la mayoría de las evidencias se enmarca dentro de la fase arcaica. El descubrimiento en algunos de los cortes excavados de unos depósitos de vertidos de las fases I-III, caracterizados por una especial abundancia de restos metalúrgicos, ha contribuido

notablemente a incrementar el número de hallazgos pertenecientes a la fase arcaica (FA). Asimismo, en la zona de hábitat situada al interior de la muralla, la presencia de estructuras de combustión y de abundantes residuos metalúrgicos permitió identificar varios ambientes dedicados a la realización de actividades metalúrgicas. Todos estos ambientes fueron amortizados por la construcción de la muralla en la fase IV, momento que marca el comienzo de La Fonteta Reciente (FR).

La especial concentración de evidencias de la producción de metales en esta zona del yacimiento sugiere que durante la fase arcaica dicha área podría haber constituido un “barrio industrial”, en este caso dedicado principalmente a tareas metalúrgicas, como se ha documentado también en dos yacimientos fenicios de la provincia de Málaga, en los Sectores 8 y 9 del Cerro del Villar (Aubet *et al.* 1999) y durante la última fase de ocupación de La Rebanadilla (Sánchez Sánchez-Moreno *et al.* 2011). Sin embargo, dentro de este “barrio” no se observa una clara especialización de los espacios según el tipo de metalurgia, es decir no se ha registrado un uso exclusivo para un tipo concreto de metalurgia o de proceso metalúrgico, aunque sí parece que hubiese un uso preferente de determinados ambientes para la producción de metales no-ferrosos, mientras que en otras áreas se realizaron mayoritariamente operaciones siderúrgicas.

También cabe mencionar la coexistencia en estos mismos espacios de un registro material relacionado con actividades de tipo doméstico y de una abundante presencia de restos faunísticos sugiriendo, como se ha documentado también en otros yacimientos contemporáneos –por ejemplo, en el mismo Cerro del Villar (Delgado Hervás 2008), en sa Caleta en Ibiza (Ramón Torres 1991) y en el Cerro Salomón en Huelva (Blanco *et al.* 1970), entre otros (véase el Cap. 1)– que no se trataba de viviendas de uso únicamente “industrial”.

Con respecto a FR, este periodo apenas ha proporcionado restos de estructuras relacionadas con estas actividades metalúrgicas y la cantidad de residuos es sensiblemente inferior con respecto al periodo anterior, correspondiendo principalmente a escorias y a restos de fundición. Sin embargo, el tamaño de la zona excavada hasta ahora es todavía reducido y no se puede determinar si la diferencia registrada en el número de hallazgos metalúrgicos de los dos grandes periodos de vida de La Fonteta (FA y FR) refleja un cambio en su economía o si la producción de metales en la fase reciente fue llevada a cabo en una zona distinta del yacimiento. En consideración de las remodelaciones del perímetro urbano realizadas con la erección de la muralla que

amortiza los espacios metalúrgicos de las fases anteriores, no es improbable que la zona de producción de metales fuese desplazada a otra área del poblado que estaría pendiente de localizar. El tipo de tecnología metalúrgica documentada por los pocos restos de la fase reciente examinados no permite determinar si se produjo algún cambio significativo respecto al modelo de producción de FA.

El volumen de hallazgos relacionados con estas actividades –más de 400 fragmentos de toberas, 200 restos de vasijas metalúrgicas, unos 60 fragmentos de moldes y abundantes escorias (aproximadamente unos 100 kg)– sugiere que no se trata solamente de una producción de autoabastecimiento sino que una parte de la producción resultante estaría destinada a la redistribución, probablemente tanto en el mundo indígena –este sería el caso de los lingotes-hacha– como en circuitos más amplios, según indica el ejemplo de la producción de la plata (véase el Cap. 5).

Sin embargo, los hallazgos de minerales realizados en La Fonteta son escasos; esta circunstancia es esperable puesto que se trata de los materiales que se consumen en la producción. Básicamente, se han encontrado una decena de nódulos de galena no argentífera y un único fragmento que presenta unos contenidos de plata beneficiables en la antigüedad. Asimismo, se han encontrado varios fragmentos de mineral de hierro aunque por su baja ley parece tratarse principalmente de materiales de desecho. Sin embargo, a pesar de que no se hayan encontrado fragmentos de mineral de cobre, son numerosas las evidencias que se pueden vincular claramente a la reducción de minerales cupríferos (véase el Cap. 4).

Esta llegada de minerales a La Fonteta es uno de los primeros rasgos a destacar de la estrategia fenicia para la producción de metales y complementa la visión tradicionalmente consolidada de que los lingotes son el producto principal del comercio. Esto corrobora la información proporcionada por hallazgos como los de la carga de galena, y posiblemente también de casiterita, del pecio de Bajo de la Campana (Polzer y Pinedo Reyes 2011) o el almacenamiento también de galena en algunas de las estructuras excavadas en el yacimiento de sa Caleta (Ramón Torres 1991: 181-182).

Con respecto a la metalurgia de base cobre, el principal método de producción documentado en el yacimiento es el empleo de vasijas de reducción. El uso de estos recipientes como receptáculos para reducir minerales tiene una larga tradición en la Península Ibérica que se remonta ya al Calcolítico o incluso antes. También en el Próximo Oriente hay evidencia de que empleaban vasijas metalúrgicas para la reducción

de minerales (*smelting crucibles*) pero, allí, este método de producción coexiste con una metalurgia del cobre más desarrollada que emplea estructuras de horno complejas con sangrado de la escoria (Hauptmann 2007). Sin embargo, ni en La Fonteta ni en la Península Ibérica se conocen escorias de sangrado de cobre para la época objeto de este estudio (Hunt 2003: 252-253). Se han publicado algunos restos escoriáceos procedentes de varios yacimientos de la provincia de Huelva como escorias de sangrado (Pérez Macías 1996), pero la interpretación ofrecida para estos materiales no resulta convincente ya que su composición químico-mineralógica, altamente silícica y con escasa presencia de óxido de hierro, no es compatible con la de una escoria de bajo punto de fusión, pues impediría que la escoria fluidificara lo suficiente para que se produjera su “sangrado” del horno.

De acuerdo con los resultados analíticos obtenidos por el estudio de las escorias y escorificaciones en vasijas metalúrgicas de La Fonteta, se ha documentado un aprovechamiento de mineralizaciones de tipo complejo, probablemente minerales mixtos con óxidos y sulfuros procedentes de las capas meteorizadas de depósitos de sulfuros de cobre. La presencia de varias impurezas que acompañan al cobre en la mayoría de las escorias analizadas –como por ejemplo níquel, cobalto, arsénico, plomo, estaño, antimonio y en algunos casos también plata– indica además que son minerales polimetálicos.

Con respecto a la producción de bronce, tanto binario como ternario, se han descrito tres distintos métodos de obtención de la aleación (Rovira Llorens 2007): por co-reducción de minerales de cobre con casiterita, cementación de masas metálicas de cobre o cobre-plomo con casiterita y la mezcla de metales. Las primeras dos técnicas de producción de bronce, en las que interviene directamente el uso de mineral, son las más documentadas en La Fonteta, confirmando cuanto ya se ha sugerido anteriormente, es decir, que el comercio de minerales tuvo que ser un aspecto común y de fundamental importancia para la metalurgia fenicia de la época.

El proceso de cementación no está documentado para épocas anteriores al Bronce Final, por tanto los datos de La Fonteta junto con los de Gusendo de los Oteros (León) (Rovira Llorens 2007: 29-30) y de Carmona (Sevilla) (Renzi *et al.* 2007) son actualmente los testimonios más antiguos del uso de esta técnica, remontándose al siglo VIII a.C.

En este mismo periodo destaca también la coexistencia en La Fonteta, aunque esté presente en menor medida, de la técnica de producción de bronce mediante la mezcla de metales (cobre y estaño); sin embargo, no se ha registrado la presencia de estaño metálico.

Esta forma de alear no está claramente documentada en otros yacimientos contemporáneos. De hecho, el único testimonio conocido para esta época es una escoria de bronce procedente de los niveles fenicios de Carmona, que ha sido vinculada a este proceso por S. Rovira Llorens (2007: 30-33) pero, tal como se explica en el Capítulo 4, su formación podría explicarse también como subproducto de un proceso de cementación. El hallazgo de La Fonteta constituiría pues el ejemplo más antiguo actualmente conocido de la obtención de bronce mezclando cobre y estaño metálico.

La presencia de numerosos fragmentos de moldes, casi todos fabricados en piedra arenisca, indica que en La Fonteta también se realizaron actividades de elaboración de objetos de base cobre, aunque esos moldes se relacionan mayoritariamente con la producción de lingotes-hacha (Renzi 2010). Escasean los testimonios de actividades de colada como gotas de fundición, aunque sí se han documentado numerosas vasijas que por su tipología pueden relacionarse con más probabilidad a la fase de producción de objetos metálicos, como por ejemplo las que estaban dotadas de picos vertedores cuya presencia habría favorecido el vertido del caldo metálico en un molde. Además, la presencia de varios objetos en fase de elaboración, como algunas mortajas para fíbulas sin doblar y el hallazgo de dos anzuelos fabricados a partir de una única varilla y todavía unidos, es decir sin separar (González Prats 2010), confirmarían la existencia de estas actividades manufactureras.

Complementariamente a la reducción de mineral de cobre y al hallazgo de fragmentos de lingotes, parece existir también un aprovechamiento de metales amortizados. El registro material documentado en la zona de taller está constituido en gran parte por objetos fragmentados de pequeño tamaño y a menudo de tipología no reconocible. Asimismo, el análisis elemental de la composición de estos materiales muestra un muy bajo nivel de impurezas de elementos volátiles, como antimonio y arsénico –unos elementos que están presentes en varias de las escorias de reducción analizadas–, y escasos porcentajes de estaño –a menudo inferiores al 5% Sn–, apuntando hacia esta posibilidad.

En cuanto a la producción de plata, un tema central que ha sido vinculado a la presencia fenicia en Iberia ya desde la época clásica, La Fonteta ha proporcionado elementos innovadores para la reconstrucción de los procesos de obtención del metal noble. Aunque durante la Edad del Bronce en el sureste de la Península Ibérica hay evidencias de una metalurgia de la plata, la colonización fenicia supone la introducción del método de copelación para extraer este metal de los minerales argentíferos mediante el uso del plomo como colector. El proceso de copelación ya era practicado en el Mediterráneo Oriental durante el IV milenio a.C. (Potts 2012; Kakavogianni *et al.* 2008; Pernicka 2004) y sería uno de los conocimientos tecnológicos introducidos por los fenicios en la Península.

Los subproductos de esta metalurgia –fragmentos de copelas y litargirio– son fácilmente identificables en el registro arqueológico por su elevada densidad y por su característico color blanquecino de la superficie y rosado-amarillento de la fractura. En La Fonteta hemos identificado una docena de fragmentos de copelas y un fragmento de litargirio. Las copelas por sí solas no necesariamente implican una producción *in situ* de plata ya que hay evidencia de su comercialización, según indican la carga del pecio de Mazarrón “Barco fenicio 2”, hundido en las aguas de la Playa de la Isla (Puerto de Mazarrón, Murcia) y constituido por más de 1200 kg de copelas (Negueruela *et al.* 2000: 1677), y también el almacenamiento de 1000 kg de restos de copelas y litargirio en uno de los ambientes excavados en el Castillo de Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz) (Ruiz Mata 1989: 232; Hunt 1995: 452). Sin embargo, el hallazgo en La Fonteta de un nódulo de galena argentífera (con 1700 ppm Ag) y la coincidencia de su signatura isotópica con las de las copelas y del litargirio analizados, sugieren que en el yacimiento pudieron llevarse a cabo actividades para la producción de plata.

Igualmente, esta producción se ve favorablemente argumentada por la presencia de otros subproductos que se han relacionado con un novedoso método de obtención del metal noble a partir de minerales cupro-argentíferos. Este proceso, conocido en la literatura como licuación, no había sido documentado con anterioridad a la época romana en la que, además, se estaba empleando únicamente para el desplatado de aleaciones metálicas ricas en plata (Bayley y Eckstein 1997; 2006). La presencia de residuos vinculados a un proceso de licuación para extraer plata de minerales cupro-argentíferos es una de las principales novedades de este trabajo. Hasta ahora, aunque las evidencias arqueológicas son todavía poco consistentes, un posible uso de esta técnica ha sido mencionado solamente para unas estructuras y unos restos metalúrgicos

encontrados en la zona industrial del palacio norte de Ras Ibn Hani (Siria) fechado en el Bronce Final (Bordreuil *et al.* 1984).

Los materiales de La Fonteta confirmarían pues el uso de esta técnica que apenas ha sido contemplada en la investigación como fuente de obtención de plata en la antigüedad. El aprovechamiento de cobres argentíferos en el yacimiento está documentado, como ya habíamos indicado en el capítulo correspondiente (Cap. 5), por la presencia de algunas escorias de cobre en las que se han identificados inclusiones metálicas con segregados de plata. Los subproductos resultantes de la licuación serían los que se han definido como copelas cobre-plomo por su composición en la que abundan los óxidos de cobre y de plomo y que presentan una microestructura similar a la de las copelas convencionales. Además, la signatura isotópica de una de estas copelas coincide con las de las galenas no argentíferas y con la de la mayoría de los goterones de plomo metálico analizados (Renzi *et al.* 2009). Esta coincidencia nos sugiere que se añadió plomo al cobre argentífero para realizar el proceso de licuación.

Residuos similares a los de La Fonteta se han documentado también en otro yacimiento fenicio contemporáneo de la Península Ibérica, el Cerro del Villar (Renzi *et al.* 2007), donde además se ha encontrado una pieza clave para comprender este proceso, un régulo que correspondería al producto intermedio (plata semirrefinada) de este proceso y compuesto por aproximadamente un 57% de plata, 30% de cobre, 10% de plomo y un 3% de bismuto, un tipo de composición que no es conocida para la elaboración de objetos.

El aprovechamiento de minerales cupro-argentíferos, aunque no la licuación, está documentado también en el yacimiento fenicio malagueño de La Rebanadilla, en Monte Romero (Huelva) y en La Loba de Fuenteobejuna, en Córdoba. Por tanto, todos estos hallazgos muestran un uso relativamente común de recursos cupríferos ricos en plata y no exclusivo de La Fonteta (Renzi *et al.* 2007).

Aunque quedan muchos aspectos por clarificar y el muestreo analizado todavía es reducido, parece que el uso de la licuación para obtener plata en La Fonteta se utilizó solamente en la fase arcaica del yacimiento, ya que a partir del momento de transición entre FA y FR sólo se han documentado residuos relacionados con el aprovechamiento de minerales plumbo-argentíferos, unos recursos más abundantes y más fácilmente beneficiables, además de tener un menor coste al no tener que aportar plomo externo.

En el yacimiento se han encontrado también objetos de plata (González Prats 1999-2000) pero no han podido ser incluidos en este estudio.

De manera paralela a la producción de plata por copelación, en el mundo colonial de la Península se documenta también por primera vez una clara presencia de plomo metálico, goterones y objetos (Morell 2009). En La Fonteta desde la primera fase de ocupación ya aparecen abundantes goterones y algunos objetos de plomo, en particular pesas de red y ponderales (véase el Cap. 10). Los plomos analizados han resultado ser bastante puros, sin apenas presencia de plata. Además, su signatura isotópica coincide con la de la galena no argentífera y, por tanto, aunque no se han documentado escorias de reducción de plomo, indica una relación directa entre la materia prima y el metal resultante.

Esta producción de plomo a partir de la galena tenía como objetivo primario la obtención de metal para la producción de objetos y aleaciones, y paralelamente parte de este metal se utilizaría también para la copelación de las masas metálicas de cobre-plata. No puede tratarse de un plomo secundario obtenido por el reciclaje de los subproductos de copelación plomo-plata ya que su signatura isotópica es completamente diferente a la de las copelas analizadas. Y si se tratara del reciclaje de los subproductos de la metalurgia de cobre-plata-plomo, estos goterones u objetos deberían contener cantidades elevadas de cobre, como se constata por ejemplo en los lingotes-hacha (véase el Cap. 10).

Uno de los apartados principales de la investigación ha sido el estudio de la cerámica técnica, en la que se incluyen toberas, vasijas de uso metalúrgico para reducción y fundición, y moldes, aunque en este caso sólo se han identificado dos fragmentos de arcilla de interpretación dudosa.

Tanto para las toberas como para las vasijas se ha documentado el uso de dos tipos distintos de pasta cerámica: una de tipo claro que presenta desgrasantes vegetales y otro de color rojizo con numerosos desgrasantes minerales, a menudo de tamaño grueso, y materia vegetal; sin embargo, no se ha podido establecer una clara relación entre el tipo de pasta cerámica y la funcionalidad de estas piezas. Únicamente en el caso de las toberas de sección circular (tanto las cilíndricas como las corniformes y las de sección en D) se ha documentado un uso exclusivo de la pasta de tipo claro, mientras que en el caso de las toberas prismáticas se ha detectado un uso preferente, aunque no exclusivo, de la pasta rojiza.

En cuanto a la tipología de esas toberas encontradas en La Fonteta, el conjunto de ejemplares de sección cuadrangular es muy numeroso (más de 100 fragmentos claramente identificados), a diferencia de lo que se ha registrado en la Península en épocas anteriores en las que sólo se conocen boquillas de tubos de soplado y unos pocos ejemplares de posibles toberas de sección circular. Ese cambio en la sección puede considerarse como un indicador indirecto de una nueva tecnología de horno introducida por los fenicios.

En Oriente, en estos momentos se conocen ejemplares de toberas prismáticas (Veldhuijzen y Rehren 2007) pero sólo se han documentado con una sola perforación, mientras que en el mundo colonial peninsular también se documentan las de perforación doble. Sin embargo, un análisis más detallado del contexto de hallazgo de los principales conjuntos de toberas conocidos indica que los de cronología más antigua, como el de la C/ Méndez Núñez/Plaza de las Monjas de Huelva (González de Canales *et al.* 2004: 147-148) y las toberas de La Rebanadilla (Sánchez Sánchez-Moreno *et al.* 2011), son de perforación simple, mientras que en los conjuntos fechados a partir del siglo VIII a.C., como el de La Fonteta, las toberas de perforación doble son predominantes, sugiriendo que podría tratarse de un desarrollo evolutivo en la tipología.

Dentro de estos procesos de cambio e innovación tecnológica podemos enmarcar también la variante de tobera prismática de perforación simple identificada en La Rebanadilla, que presenta un estrechamiento en uno de los dos extremos realizado probablemente para facilitar su conexión con el fuelle.

Con respecto al tipo corniforme, cabe destacar que su morfología tiene que vincularse con un tipo diferente de aireación en una estructura pirometalúrgica de tipo abierto en la que se necesita un ambiente oxidante, es decir que se emplearía para operaciones de copelación o de fundición de metal. Los antecedentes conocidos para esta tipología son las toberas encontradas en algunos yacimientos orientales, como por ejemplo las de Tell Tayinat (Llanura de Antioquia, Turquía) encontradas en un contexto de la I Edad del Hierro (Lumb *et al.* 2008). En la Península Ibérica en todos los yacimientos en los que se estaban llevando a cabo operaciones de obtención de plata, concentrados principalmente en la zona suroeste peninsular, se ha documentado ese tipo de toberas, como por ejemplo en Monte Romero, Cerro Salomón, Huelva, Peñalosa, Tejada la Vieja, etc. (véase los Caps. 1 y 7).

En cuanto a las tipologías de las vasijas cerámicas documentadas en La Fonteta, se han identificado distintas formas y capacidades, y muchas de ellas no tienen paralelos conocidos (véase el Cap. 8). La variabilidad formal registrada induce a pensar en una falta de estandarización de los tipos en relación con su función, dificultando la interpretación de algunas de ellas como vinculadas a operaciones de metalurgia primaria o de fundición de metal. Sin embargo, el conocimiento y el dominio tecnológico de los metalúrgicos de La Fonteta sugieren que esta variabilidad podría estar respondiendo a otros factores como producciones a distinta escala, es decir que la elección del tipo o del tamaño de la vasija a utilizar estaría condicionada por el destino final de esa producción, desde las necesidades de autoconsumo en el taller, a una producción destinada al consumo del poblado o al comercio externo.

Por último, he de señalar la introducción de la tecnología del hierro en la Península. Aunque se conocen objetos de hierro en contextos anteriores a una presencia estable de los fenicios en el territorio ibérico, no se han documentado restos de producción de hierro. Los testimonios más antiguos proceden de yacimientos fenicios y su estudio analítico sigue siendo muy limitado, destacando la total ausencia de menciones a la presencia de escorias de reducción. Por tanto, la información que aporta La Fonteta tiene una importancia especial para empezar a comprender esta nueva tecnología. El primer punto a destacar es el uso de minerales de tipo complejo en el que el hierro va acompañado por cantidades apreciables principalmente de níquel, arsénico y cobre. Como en el caso del cobre, parece tratarse de mezclas de óxidos-sulfuros en las que la naturaleza meteorizada de estos depósitos explicaría también el enriquecimiento en los metales acompañantes por fenómenos de alteración hidrotermal (Torres Ruiz *et al.* 1991). Mineralizaciones de este tipo son desconocidas en el entorno de La Fonteta y sólo se han descrito en las zonas mineras de las provincias de Málaga y, en menor medida, de Granada, asociadas principalmente a las formaciones de peridotitas (Torres Ruiz *et al.* 1991; Romero 2003).

Entre otros rasgos de la metalurgia del hierro documentada en La Fonteta, destaca la presencia de un objeto metálico indeterminado compuesto por cantidades muy elevadas de níquel, de casi el 20% Ni. Tradicionalmente, composiciones de este tipo han sido vinculadas a una naturaleza meteórica del hierro o a importaciones de zonas geográficas en las que existen depósitos conocidos de hierro niquelíferos, como por ejemplo los Balcanes o Grecia. Sin embargo, la presencia de níquel en las escorias de

hierro de La Fonteta, así como de arsénico –un elemento que también se ha detectado en cantidades apreciables en el objeto arriba mencionado– descarta que pueda tratarse de un hierro meteórico. La presencia en la Península de estos minerales ricos en níquel y arsénico podría apoyar la opción de una producción local; además, escorias de hierro con inclusiones metálicas de tipo complejo se empiezan a conocer también en otros yacimientos contemporáneos de La Fonteta, como por ejemplo en los Castillejos de Alcorrín (Manilva, Málaga) (Renzi *et al.* en prensa_B) y en el Cerro del Villar (Málaga) (Renzi *et al.* en prensa_A). En consecuencia, la opción de la explotación de recursos peninsulares frente a una importación de metal cobra más sentido, sugiriendo además una procedencia malagueña para ese tipo de mineral.

Los análisis de isótopos de plomo nos permiten complementar la información para trazar el origen de los recursos empleados en La Fonteta (Renzi *et al.* 2009). Las galenas y el plomo metálico, así como una de las copelas cobre-plomo, se vinculan al campo isotópico de la Sierra de Gádor o de la Sierra Alhamilla en provincia de Almería. En cambio, la composición isotópica de los fragmentos de copelas y del litargirio, así como de la galena argentífera, nos llevan a los distritos mineros murcianos sin que podamos precisar cuál de ellos, debido a que los valores obtenidos no se ajustan con exactitud ni con Cartagena ni con Mazarrón aunque se encuentran próximos a los recursos de la Sierra del Cantar, en un área isotópica en la que también se integran otros materiales metalúrgicos contemporáneos, como las copelas del pecio de Mazarrón “Barco fenicio 2”. Por tanto, para poder precisar en un futuro el origen de estos recursos argentíferos, sería importante caracterizar con más detalle los depósitos de plomo de la provincia de Murcia. También quedaría por identificar la procedencia exacta del mineral cupro-argentífero empleado en La Fonteta.

Finalmente, la composición isotópica del único fragmento de lingote analizado plantea la posibilidad de que, además, se estuviera importando cobre metálico de fuera de la Península, aunque tampoco en este caso ha sido posible concretar su origen (véase el Cap. 11).

Si a estos datos de procedencia del hierro, plomo y cobre añadimos que se ha documentado la importación de una cantidad significativa de cerámica fabricada en la provincia de Málaga (Grupo CAM, González Prats 2008; 2011b; Montenat *et al.* 2007: 489-490) y la posible importación de materiales líticos de esta misma zona y también de

la provincia de Almería (Montenat 2007: 473-474), se puede apreciar el nivel de complejidad de las dinámicas comerciales fenicias en esta época.

Todos los resultados obtenidos con este estudio abren una serie de nuevos interrogantes que futuros trabajos de investigación deberán ir contestando, especialmente realizando estudios exhaustivos en otros asentamientos contemporáneos de La Fonteta. Se podrá así comprobar si el modelo productivo y el nivel tecnológico que se ha definido pueden generalizarse a otros yacimientos contemporáneos o si presentan rasgos singulares dentro del panorama metalúrgico fenicio, posiblemente debido a su localización geográfica alejada de recursos minerales inmediatos.

12b. CONCLUSIONS

The different chapters presented in this thesis allow us to analyse and describe diverse aspects of Phoenician metallurgy during the archaic period of their western colonisation. This analysis comes from the study of a varied set of archaeological materials recovered at La Fonteta and related to metallurgical activities done to produce both non-ferrous metals – such as copper, copper-lead alloys, binary and ternary bronzes, lead and silver – and ferrous items (iron production and forge). The detailed analysis of these materials has provided important data for making a general evaluation of the technological level reached by the Phoenicians in the western world, in which the important contributions of La Fonteta in this achievement stand out.

The importance of metallurgy, as one of the driving forces of the Phoenician colonial process, is generally accepted but the number of specialised studies on materials related to activities for metal production carried out at colonial settlements or at Phoenician-influenced sites – described in detail in Chapter 1 – is rather low. Consequently, the analytical study of the materials from La Fonteta offers a significant addition to the knowledge of those activities and allows us to present completely innovative and previously unknown metallurgical processes.

The idea of a direct technological transfer from the Near East to the western colonial world has to be questioned in light of actual archaeological evidence. On the one hand, the scarcity of archaeometallurgical findings in Phoenicia and, on the other, the lack of studies of the major part of those materials, limits the possibility of comparing our data effectively with results from previous studies. However, current data for previous periods or for close geographic areas culturally connected to the Phoenicians suggest that among the technological processes documented in the Iberian Peninsula during this chronological phase, there are both imported elements and others that can be traced back more directly to technological integration with the indigenous substratum. Likewise, innovative processes that could have emerged as an adaptation to the mineral resources of the Iberian territory have been also documented.

In the following pages we summarise the main aspects of Phoenician metallurgical techniques used for producing the different metals.

To begin, it has to be stressed that the settlement of La Fonteta is situated in an area in which there are no known ore deposits, at least not in its immediate surroundings. The closest mineralisations are situated in a range of approximately 30 km northwards, in the Crevillente area (Alicante), where there are small iron deposits, and westwards, next to the Sierra de Orihuela (Alicante), where there are iron mineralisations and copper-gold ore deposits. With regard to lead, the closest resources are located 60-70 km away (around 35-40 nautical miles), in the mining districts of Sierra de Cartagena-La Unión and Mazarrón, in the Murcia province. Also, one should note that the location of La Fonteta – settled on the coast and next to a river estuary – is mainly due to a strategic position for navigation and trade. This position allowed the site to act not only as a receiving centre but to have a redistribution role as well, both towards the interior and towards other areas of interest establishing wider commercial relations by sea routes.

With the above in mind, it is not surprising that La Fonteta was situated in front of the Sierra de Crevillente where, during the Final Bronze Age, one of the main indigenous sites of the region was settled, Peña Negra. The presence of this centre, with active metallurgical workshops, may have triggered the founding of a Phoenician colony on the coast (González Prats 1990: 3). In fact, between the 8th and the 7th centuries BC, a totally Phoenician workshop dedicated to ceramics production and to gold and silver work was installed in one of the quarters of Peña Negra. This important Orientalising site, identified with the *Herna* mentioned in Avienus' *Ora Maritima*, constituted a flourishing emporium in which diverse commercial routes and people of different origins converged (González Prats *et al.* 1997: 13).

Despite the fact that La Fonteta's location was mainly chosen for trade, there is a surprising number and variety of archaeometallurgical materials found at the site. Evidence of metal production activities have been documented in all the excavated sectors and, according to data actually available, metallurgy seems to have been an important aspect of La Fonteta economy during its entire occupation sequence, although the majority of this evidence can be ascribed to the archaic phase (AF). The discovery in some sectors of waste deposits dated to phases I-III and characterised by an abundance of metallurgical debris, noticeably increased the number of findings belonging to the archaic period (AF). Likewise, in the area of the habitat situated within the walls, the presence of pyrometallurgical structures and of abundant metallurgical debris allowed

us to identify various spaces dedicated to activities for metal production. All these rooms were razed by the construction of the walls during the phase IV, a moment that marks the beginning of Recent La Fonteta (FR).

The concentration of evidence for metal production in that area of the settlement suggests that during the archaic period it could have constituted a sort of “industrial quarter”, in this case mainly dedicated to metallurgical activities. A similar situation has also been documented at two Phoenician settlements in the Malaga province, in Sectors 8 and 9 of Cerro del Villar (Aubert *et al.* 1999) and during the last occupation period of La Rebanadilla (Sánchez Sánchez-Moreno *et al.* 2011). However, inside this “quarter” no clear evidence of specialisation in these spaces could be observed, that is, their exclusive use for a type of metallurgy or metallurgical process has not been registered. Though, it seems to be possible that a preferential use of certain rooms for non-ferrous metal production existed, while operations for obtaining iron were carried out for the most part in other structures of the “industrial quarter”.

It is also worth noting the co-existence in the same spaces of a material record of domestic-type activities and the presence of abundant faunal remains. This evidence suggests, as it has been documented in other contemporary sites – for example, at Cerro del Villar (Delgado Hervás 2008), at sa Caleta in Ibiza (Ramón Torres 1991) and at Cerro Salomón in the Huelva province (Blanco *et al.* 1970), among others (see Chap. 1) – that those spaces corresponded to housing whose use was not exclusively “industrial”.

Regarding RF, this period provided hardly any structural remains related to metallurgical activities and the quantity of sub-products, mainly slags and melting wastes, is appreciably lower than in the previous period. However, the size of the area excavated to date is still relatively small and it is not possible to determine if the difference recorded in the number of metallurgical findings between the two big occupation periods of La Fonteta (AF and RF) reflects a change in its economy or if metal production during RF was carried out in a different area of the site. Considering that the remodelling of the urban perimeter (i.e. the erection of the walls) razed the previous metallurgical areas, it is likely that the zone used for metal production was moved to another, as yet unidentified, area of the settlement. The type of metallurgical technology documented by the scarce number of RF samples studied does not allow us to determine if a significant change occurred with respect to the mode of production of AF.

The volume of findings related to those activities – more than 400 fragments of tuyeres, 200 rests of metallurgical vessels, around 60 fragments of moulds and abundant slags (approximately 100 kg) – suggests that we are dealing not only with a production for local consumption but part of that production would be distributed both in the indigenous world – this would be the case, for example, of the ingot-axes – and in wider commercial networks, as with the case of silver production (see Chap. 5).

That the findings of minerals at La Fonteta are limited is not surprising, considering that those materials are consumed during the production process. Ultimately, a dozen non-argentiferous galena nodules were found, and only in a single nodule of galena we detected a silver content high enough to be exploited in Antiquity. Various fragments of iron ore were also recovered although, as low grade minerals, they may correspond to waste materials. Copper ore fragments were not found, but remains of archaeometallurgical materials clearly related to reduction of cupriferous minerals are numerous (see Chap. 4).

This arrival of ores at La Fonteta is one of the first features to stand out in the Phoenician strategy for metal production and complements the traditional viewpoint that ingots are the principal product of trade. This corroborates the information provided by discoveries like the galena cargo, possibly also with some cassiterite, of the Bajo de la Campana shipwreck (Polzer and Pinedo Reyes 2011) or the storage of galena in some of the structures excavated at the Phoenician site of sa Caleta (Ramón Torres 1991: 181-182).

With regard to copper-based metallurgy, the main production method documented at the site is the use of smelting crucibles. The use of these receptacles as reactors in which minerals are reduced, has a long tradition in the Iberian Peninsula that goes back to the Chalcolithic or maybe before. Also in the Near East there is evidence that metallurgical vessels were used for reducing ores but, there, this production method coexists with a more developed copper metallurgy that employs complex pyrometallurgical structures as tapping furnaces (Hauptmann 2007). However, neither at La Fonteta nor in the Iberian Peninsula are copper tap slags known for the chronological period relevant to this study (Hunt 2003: 252-253). Some slaggy materials coming from various archaeological sites in the Huelva province have been published as tap slags (Pérez Macías 1996), but the interpretation provided for those materials is not convincing. Their chemical and mineralogical composition, highly

siliceous and with low presence of iron oxide, is incompatible with that of a low melting point slag, and would hinder the slag melting and tapping.

From the analytical results obtained by studying slags and slaggy layers on metallurgical vessels from La Fonteta, we observe an exploitation of complex mineralisations, possibly minerals mixed with oxides and sulphides originating from the weathered layers of copper sulphides deposits. Moreover, the presence of various impurities that go with the copper in the majority of the slags analysed – as for example nickel, cobalt, arsenic, lead, tin, antimony and in other cases silver as well – indicate that polymetallic ores were being used.

Regarding bronze production, both binary and ternary, three different methods for obtaining the alloy have been described (Rovira Llorens 2007): by co-smelting of copper ores with cassiterite, cementation of metallic masses of copper or copper-lead with cassiterite and mixing metals. The first two techniques to produce bronze, in which the use of minerals takes part, are the most documented at La Fonteta, confirming what we suggested previously: the ore trade was a common feature and of fundamental importance for Phoenician metallurgy at that time.

Cementation process was not documented in periods prior to Final Bronze Age; then, the materials from La Fonteta together with those from Gusendo de los Oteros (León) (Rovira Llorens 2007: 29-30) and Carmona (Sevilla) (Renzi *et al.* 2007) in fact provide the oldest evidence of cementation, dating back to the 8th century BC.

In this same period, although it is less documented, at La Fonteta bronze was also produced by means of mixing metals (copper and tin); nevertheless, no presence of metallic tin has been recorded. This method for obtaining bronze was not clearly evident at other contemporary settlements; in fact, the unique known evidence for this period is a bronze slag coming from the Phoenician levels of Carmona and it has been related to this process by S. Rovira Llorens (2007: 30-33) but, as we explain in Chapter 4, its formation could be explained also as a sub-product of a cementation process. Therefore, those finds at La Fonteta would constitute the most ancient example actually known of bronze production by mixing metallic copper and tin.

The presence of numerous mould fragments, in most cases made of limestone, indicates that activities for manufacturing copper-based objects were also carried out at La Fonteta, although these moulds are mainly related to ingot-axes production (Renzi 2010). Evidence of casting operations, such as melting drops, are quite scarce; however, some of the metallurgical vessels found at the site present morphological characteristics

connected to the stage of metal objects production. For example, some of those vessels are provided with pouring spouts that would have facilitated casting the metal melt into a mould. Moreover, the presence of some objects at a preparation stage, like some unfolded mortises of fibulae and the discovery of two fish-hooks manufactured from a unique metal rod and still fused (González Prats 2010), confirm the existence of those manufacturing processes.

In addition to copper ore reduction and to the found ingot fragments, it seems that a wealth of scrap metals also existed. A large part of the material record documented in the workshop area of the settlement was made up of small size fragmented objects whose typology often cannot be identified. Analyses of elemental composition of those materials show a low level of volatile elements, such as antimony and arsenic – elements that have been detected in many of the smelting slags analysed –, and low contents of tin (often lower than 5% Sn), pointing to the practice of recycling scrap metal.

With regard to silver production, a key topic traditionally linked to Phoenician presence in Iberia since classic times, La Fonteta provided innovative data for reconstructing the processes used for obtaining the noble metal. Despite there also being evidence during the Bronze Age, in the southeast of the Iberian Peninsula, of silver production, Phoenician colonisation involves the introduction of the cupellation method for extracting this metal from argentiferous ores by using lead as a silver collector. Cupellation was already practiced in the eastern Mediterranean during the 4th millennium BC (Potts 2012; Kakavogianni *et al.* 2008; Pernicka 2004) and it would be one of the techniques introduced by the Phoenicians in the Peninsula.

Sub-products of this type of metallurgy – cupels' fragments and litharge – can be easily identified in the archaeological record due to their high density and to the typical whitish colour of their surface and pink-yellowish of their fracture. At La Fonteta we identified a dozen of cupels' fragments and one litharge piece. These materials in themselves do not necessarily imply an *in situ* silver production as there is evidence for their commercialization in Antiquity, according to the cargo of the shipwreck from Mazarrón “Barco fenicio 2” – sank in Playa de la Isla (Puerto de Mazarrón, Murcia) – constituted by more than 1200 kg of cupels (Negueruela *et al.* 2000: 1677). Likewise, the storage of approximately 1000 kg of cupels and litharge fragments in one of the structures excavated at Castillo de Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz) (Ruiz Mata 1989: 232; Hunt 1995: 452) confirm this hypothesis.

Nevertheless, the discovery at La Fonteta of an argentiferous galena nodule (with 1700 ppm Ag) and the coincidence of its isotopic signature with that of the cupels and litharge analysed, suggests that silver production activities could also have been carried out at the site. Furthermore, evidence of local silver production is supported by the presence of other sub-products that have been related to a novel method for obtaining the noble metal from cupro-argentiferous ores. This process, known in the literature as liquation, was not documented before the Roman period, and in that period it was only used for desilvering silver-rich metal alloys (Bayley and Eckstein 1997; 2006).

The presence of debris linked to liquation processes for the extraction of silver from cupro-argentiferous minerals is one of the main novelties of this thesis. To date, although archaeological evidence is not solid, a possible use of this technique has been mentioned only for some structures and some archaeometallurgical materials found in the industrial area of the northern palace of Ras Ibn Hani (Syria), dated to the Late Bronze Age (Bordreuil *et al.* 1984). Then, the materials from La Fonteta would confirm the use of this technique, hardly considered by researchers as a possible source for obtaining silver in Antiquity. The exploitation of argentiferous copper has been documented at the site – as we already indicated in the correspondent chapter (Chap. 5) – by the presence of some copper slags in which some metallic inclusions with silver segregates have been detected.

The principal liquation sub-product is the copper-lead cupels, so-called because of its composition in which lead and copper oxides are the main components and because of the similarity of their microstructure to the one of the conventional cupels. Furthermore, the isotopic signature of one of those copper-lead cupels matches that of non-argentiferous galena and of the majority of metallic lead droplets analysed (Renzi *et al.* 2009). This coincidence suggests that lead was added to the argentiferous copper to carry out the liquation process.

Residues similar to the ones from La Fonteta have been documented at another contemporary Phoenician settlement of the Iberian Peninsula, Cerro del Villar (Renzi *et al.* 2007). There, a key element for comprehending this process has been identified, a regulus corresponding to an intermediate product (semi-refined silver) of this process, composed of approximately 57% silver, 30% copper, 10% lead and 3% bismuth; the use of this kind of composition is not known for manufacturing objects. Likewise, exploitation of cupro-argentiferous ores, although not liquation process sub-products, has been documented at the Phoenician site of La Rebanadilla (Malaga), at Monte

Romero (Huelva) and La Loba de Fuenteovejuna (Córdoba) as well, showing a relatively common use of silver-rich cupriferous resources, not exclusive to La Fonteta (Renzi *et al.* 2007).

Even though many aspects still have to be clarified and the sampling could be more extensive, it seems that the liquation process for obtaining silver was used at La Fonteta only during the archaic occupational phase. In fact, from the transition period between AF and RF onwards, just sub-products related to the exploitation of plumbo-argentiferous ores are documented. These mineral resources were more abundant and easier to benefit from, as their use did not require the addition of lead for extracting the noble metal.

At La Fonteta silver items have also been found (González Prats 1999-2000) but it was not possible to include them in the present study.

Parallel to silver production by cupellation, a clear presence of metallic lead, in droplets and objects, is first documented in the peninsular colonial world (Morell 2009). Since the first occupation phase of La Fonteta numerous lead droplets and some objects, in particular net-sinks and weights (see Chap. 10), appeared. The analyses of these items show a nearly pure metal, with almost no presence of silver. Furthermore, its isotopic signature matches the one of the non-argentiferous galena and, although no lead smelting slags were found, this indicates that a direct relation existed between the raw material and the resulting metal.

Lead production from galena was mainly dedicated to obtaining metal for objects and alloys production; at the same time, part of that metal would also be used for cupellating copper-silver metallic masses. The lead found at the site cannot be secondary lead resulting from the recycling of lead-silver cupellation debris, as its isotopic signature is completely different from that of the cupels analysed. Likewise, if this lead would be the result of recycling copper-silver-lead metallurgical sub-products, those droplets or objects should show high copper contents, as it has been documented, for example, in the ingot-axes (see Chap. 10).

As mentioned above, one of the main features of this research is the study of technical ceramics that include tuyeres, smelting and melting metallurgical vessels, and moulds, despite the fact that, in this case, only two clayey fragments of uncertain interpretation have been collected. For manufacturing both the tuyeres and the metallurgical vessels, two different kinds of ceramic paste have been identified: a clear type with vegetable tempers and a reddish one with abundant mineral tempers,

sometimes coarse-sized, together with some vegetal material. Nevertheless, a clear relation between the type of ceramic paste and the functionality of those items could not be established.

In the circular-section tuyeres (cylindrical, horn-shaped and d-shaped ones) an exclusive use of clear-type ceramic paste has been detected; by contrast, for the prismatic tuyeres we detected a preferential (but not exclusive) use of the reddish type.

Concerning the typology of the tuyeres found at La Fonteta, quadrangular-section specimens are abundant (more than 100 fragments have been clearly identified), in contrast to what has been recorded for previous periods in the Iberian Peninsula where just blow-pipes and few possible circular-section tuyeres are known. This change in the shape of their section can be considered as an indirect indicator of a new furnace technology introduced by the Phoenicians.

For this chronological period, in the Near East prismatic tuyeres have also been found (Veldhuijzen and Rehren 2007) but just of the single-perforation type, while in the Iberian Peninsula a double-perforation variant is known as well. However, a more detailed analysis of the recovery contexts of the principal tuyeres sets actually known show how the most ancient ones – as, for example, the ones from C/ Méndez Núñez/Plaza de las Monjas in Huelva (González de Canales *et al.* 2004: 147-148) and from La Rebanadilla (Sánchez Sánchez-Moreno *et al.* 2011) – have just a single-perforation, while in the sets dated since the 8th century BC – as the one from La Fonteta – the dominant type is the double-perforation tuyere, suggesting an evolution in the typology of these metallurgical devices.

Within these processes of change and technological innovation, a variant of the single-perforation prismatic tuyeres has been identified at La Rebanadilla and presents a narrowing in one of its ends possibly made for facilitating a connection to the bellow.

Regarding the horn-shaped type, its morphology has to be linked to a different kind of ventilation system of an open-type pyrometallurgical structure, in which an oxidising atmosphere was required, that is, these tuyeres were employed in cupellation and metal melting operations.

The antecedents for this typology can be found at some near eastern sites, as for example at Tell Tayinat (Plain of Antioch, Turkey) where similar tuyeres were recovered in a First Iron Age context (Lumb *et al.* 2008). In the Iberian Peninsula, all the settlements with metallurgical evidence for silver production, concentrated mainly

in the southwest part of the Iberian Peninsula, provided this type of tuyeres, as at Monte Romero, Cerro Salomón, Huelva, Peñalosa, Tejada la Vieja, etc. (see Chaps. 1 and 7).

Concerning the typology of ceramic vessels of La Fonteta, different morphologies and capacities have been documented and there are no parallels known for many of them (see Chap. 8). Their formal variability suggests a lack of standardisation of the types in relation to their function, hindering the interpretation of some of them as vessels related to smelting or melting. However, technological knowledge and know-how of metallurgists from La Fonteta suggest that this variability was responding to other factors, such as different scales productions. This means that the choice of the vessel's type and size would be conditioned by the scale of production, from the auto consumption in the workshop itself to a production destined for the settlement or for external trade.

Finally, we would like to draw attention to the Phoenicians' introduction of iron technology in the Iberian Peninsula. Despite the fact that iron objects are known in contexts prior to a stable presence of the Phoenicians on the Iberian territory, no iron production debris has hitherto been documented. The most ancient evidence of metallurgical activities for producing iron comes from some Phoenician settlements, although specialised studies on those materials are still scarce, and there is no mention of the presence of smelting slags. Therefore, the information provided by La Fonteta's materials is especially important to begin understanding this new technology. The first point to highlight is the use of complex-type ores in which iron is accompanied by appreciable amounts of mainly nickel, copper and arsenic. As for the copper ores used at the site, a mixture of oxides and sulphides were probably exploited; the weathering of the original sulphide deposits would also explain the enrichment in accompanying metals, due to hydrothermal alteration processes (Torres Ruiz *et al.* 1991). These kinds of mineralisations are unknown in the surroundings of La Fonteta and they have been identified in the mining areas of the Malaga province and, to a lesser extent, of Granada, principally in association with peridotite formations (Torres Ruiz *et al.* 1991; Romero 2003).

Among other features of iron metallurgy documented at La Fonteta, the presence of an indeterminate metallic item composed of an especially high nickel content (almost 20% Ni) has to be stressed. Traditionally, this kind of composition has been related to a

meteoric origin of the iron used or to importations from geographical areas in which nickeliferous iron ore deposits are known, as for example the Balkans or Greece.

Nevertheless, the presence of nickel in the iron slags from La Fonteta, as well as of arsenic – an element that has been also detected in significant amounts in the above mentioned item –, exclude the option that it could be a meteoric iron. The presence in the Iberian Peninsula of nickel-rich and arsenic-rich ores could support the hypothesis of a local production. Furthermore, iron slags with metallic inclusions of a complex type are also being identified at other contemporary settlements, as at Los Castillejos de Alcorrín (Manilva, Malaga) (Renzi *et al.* forthcoming_B) and at Cerro del Villar (Malaga) (Renzi *et al.* forthcoming_A). Consequently, the option of an exploitation of peninsular resources, rather than metal importation, is more plausible and suggests a possible origin from Malaga for these types of minerals.

Lead isotope analyses allow us to complement the information available to trace the provenance of the resources employed at La Fonteta (Renzi *et al.* 2009). Galena and metallic lead, as well as one of the copper-lead cupels, can be linked to the isotopic field of Sierra de Gádor or of Sierra Alhamilla, in the Almeria province. On the contrary, the isotopic composition of the cupel fragments, the litharge and the argentiferous galena lead us to the mining districts of Murcia, though we cannot specify which one as the isotopic values obtained match neither with Cartagena nor with Mazarrón. They are situated in an isotopic field close to the Sierra del Cantar resources, in an isotopic area in which other contemporary metallurgical materials are included, such as the cupels from the shipwreck of Mazarrón “Barco fenicio 2”. Therefore, to specify in the future the origin of those argentiferous resources, it is important to characterise in more detail the lead deposits of the Murcia province. The provenance of the cupro-argentiferous ores processed at La Fonteta is to be further clarified as well. Finally, the isotopic composition of the only ingot fragment analysed raises the possibility that metallic copper was also being imported, likely from an extra-peninsular area, though in this case its origin could not be specified (see Chap. 11).

If we add to these provenance data of iron, lead and copper, that a significant quantity of ceramic imported from the Malaga province has also been documented at La Fonteta (CAM group, González Prats 2008; 2011b; Monténat *et al.* 2007: 489-490) together with the importation of lithic material from the same area and from the Almeria province (Monténat 2007: 473-474), we see the complexity of Phoenician commercial networks during this chronological phase.

All the results obtained by this research raise a series of new questions that future, exhaustive investigations of other settlements contemporary to La Fonteta will have to answer. In this way, it will be possible to see if the mode of production and the technological level defined for La Fonteta can be extended to other contemporary sites or if it presents peculiar features within the Phoenician metallurgical scene, possibly due to its geographical position away from immediate mineral resources.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUAYO, P. 2001: "Estructuras indígenas, comercio y comerciantes en la época de la colonización fenicia (VIII-VI a.C.)". F. WULFF, G. CRUZ y C. MARTÍNEZ (eds.): *Comercio y comerciantes en la Historia Antigua de Málaga*. Málaga: 69-97.
- AGUILELLA, G.; MIRALLES, J.L. y ARQUER, N. 2004-2005: "Tossal del Mortórum (Cabanes, Castellón): un posible asentamiento minero con materiales fenicios de los siglos VII-VI a.C.". *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló* 24: 111-150.
- ALCALDE, G.; MOLIST, M.; MONTERO RUIZ, I.; PANIAGUA, LL.; SAÑA, M. y TOLEDO, A. 1998: "Producciones metalúrgicas en el nordeste de la Península Ibérica durante el III milenio cal. AC: el taller de la Bauma del Serrat del Pont (Tortellá, Girona)". *Trabajos de Prehistoria* 55(1): 81-100.
- ALMAGRO BASCH, M. 1967: *Inventaría Archaeologica, España (fasc. 7; E 1)*. Instituto Español de Prehistoria y Dirección General de Bellas Artes. Madrid.
- ALMAGRO GORBEA, M. 1974: "Los asadores de Bronce del Suroeste Peninsular". *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos* 77(1): 351-395.
- ALMAGRO GORBEA, M. 1977: *El Bronce Final y el período Orientalizante en Extremadura*. Biblioteca Praehistorica Hispana 14. Madrid.
- ALMAGRO GORBEA, M. 1993: "La introducción del hierro en la Península Ibérica. Contactos precoloniales en el período proto-orientalizante". *Complutum* 4: 81-94.
- ALMAGRO-GORBEA, M. 2004: "Un conjunto de lingotes de hierro "celtibéricos" en la Real Academia de la Historia". *Cuadernos de Arqueología* 12. Universidad de Navarra: 147-160.

- ÁLVAREZ MARTÍ AGUILAR, M. 2007: “Arganthonius Gaditanus. La identificación de Gadir y Tarteso en la tradición antigua”. *Klio* 89(2): 477-492.
- AMARO, C. 1993: “Vestígios orientalizantes do Claustro da Sé de Lisboa”. *Actas do Encontro ‘Os Fenícios no Território Português’ (Lisboa, 5-6 de junio de 1992)*. Estudos Orientais 4. Instituto Oriental da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa: 182-192.
- AMO, M., Del 1983: “Un molde para la fabricación de espadas del Bronce Final hallado en Ronda”. Homenaje al Profesor Martín Almagro Basch, Vol. II. Ministerio de Cultura, Madrid: 81-94.
- AMORES CARREDANO, F., de 1988: “El yacimiento arqueológico de Cortalagos (Riotinto, Huelva): datos para una síntesis”. *Actas del I Congreso Internacional Cuenca Minera de Río Tinto*: 741-753.
- ARANA CASTILLO, A. y PEREZ SIRVENT, C. 1993: “El trabajo del hierro en el poblado protohistórico de el Castellar de Lebrilla (Murcia). II. Estudio mineralógico”. A. ARANA CASTILLO, A.M. MUÑOZ AMILIBIA, S. RAMALLO ASENSIO y M^aM. ROS SALA (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*. Universidad de Murcia, Cuadernos 65. Murcia: 111-129.
- ARANA CASTILLO, R.; MANTECA MARTÍNEZ, J.I.; RODRÍGUEZ ESTRELLA, T.; MANCHEÑO JIMÉNEZ, M.A.; GUILLÉN MONDÉJAR, F.; ORTIZ SILLA, R.; FERNÁNDEZ TAPIA, M.T.; DEL RAMO JIMÉNEZ, A.; BERROCAL CAPARRÓS, C. y GARCÍA GARCÍA, C. 2005: “El patrimonio geológico y minero de la Región de Murcia”. *Bocamina: Patrimonio Geológico y Minero de la Región de Murcia. Catálogo de la exposición*. Murcia: 145-159.
- ARANCIBIA ROMÁN, A. y ESCALANTE AGUILAR, M^a del M. 2006: “La Málaga fenicio-púnica a la luz de los últimos hallazgos”. *Mainake* 28: 333-360.

- ARANCIBIA ROMÁN, A. y MORA SERRANO, B. 2011: “Malaka, de enclave colonial en las puertas del Estrecho a polis fenicia occidental en el sur de Iberia”. J.C. DOMÍNGUEZ PÉREZ (ed.): *Gadir y el Círculo del Estrecho revisados. Propuestas de la arqueología desde un enfoque social*. Cádiz: 171-184.
- ARAQUE ARANDA, F.A. y MURILLO REDONDO, J.F. 1990: “Excavación arqueológica de Urgencia en La Saetilla, Palma del Río, Córdoba.” *Anuario Arqueológico de Andalucía 1987/III. Actividades de Urgencia*. Junta de Andalucía: 212-214.
- ARAÚJO, M.F.; DE BARROS, L. y DE MELO, A.A. 2005: “Archaeometallurgical investigations on the metal production in the Quinta do Almaraz (Cacilhas, Portugal)”. J.E. FERNANDEZ, G. MAINO y A. TARTARI (eds.): *Radiation Physics for Preservation of the Cultural Heritage*. Bologna: 129-142.
- ARAÚJO, M.F.; DE BARROS, L.; TEIXEIRA, A.C. y DE MELO, A.A. 2004: “EDXRF study of Prehistoric artefacts from Quinta do Almaraz (Cacilhas, Portugal)”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 213: 741-746.
- ARMADA PITA, X.L. 2005: “Asadores de la Península Ibérica y cuestión orientalizante: un ensayo de síntesis”. S. CELESTINO PÉREZ y J. JIMÉNEZ ÁVILA (eds.): *El periodo orientalizante. Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: Protohistoria del Mediterráneo Occidental*, Vol. 2. Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 1249-1268.
- ARMADA PITA, J.L.; HUNT ORTIZ, M.A.; TRESSERRAS, J.J.; MONTERO RUIZ, I.; RAFEL FONTANALS, N. y RUIZ DE ARBULO, J. 2005: “Primeros datos arqueométricos sobre la metalurgia del poblado y necrópolis de Calvari del Molar (Priorat, Tarragona)”. *Trabajos de Prehistoria* 62(1): 139-155.

- ARRIBAS, A. y TOSDAL, R.M. 1994: "Isotopic composition of Pb and S in base and precious metal deposits of the Betic Cordillera, Spain: origin and relationship to other European deposits". *Economic Geology* 89: 1074-1093.
- ARRUDA, A.M. 2000: *Los Fenicios en Portugal: Fenicios y Mundo Indígena en el Centro y Sur de Portugal (Siglos VIII-VI a.C.)*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 5-6. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona.
- ARRUDA, A.M.; CARRETERO, P.A.; TEXEIRA, V.; DE SOUSA, E. y BARGAO, P. 2009: "Castro Marim: un santuario en la desembocadura del Guadiana". P.M. CRUZ, S. CELESTINO PÉREZ, A. PIZZO y T. TORTOSA (coord.): *Santuarios, oppida y ciudades: arquitectura sacra en el origen y desarrollo urbano del Mediterráneo occidental (Mérida, noviembre de 2005)*. Anejos del Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas – Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 79-88.
- ARTEAGA MATUTE, O. y ROOS, A.M. 2002: "El puerto fenicio-púnico de Gadir: una nueva visión desde la geoarqueología urbana de Cádiz". *SPAL. Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla* 11: 21-40.
- ARTZY, M. 2006: *The Jatt metal hoard in northern Canaanite: Phoenician and Cypriote context*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 14. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona.
- ASCALONE, E. 2006: "Tell es-Sultan/Jericho weight systems. New evidences of weights from Inner Palestine during the Early and Middle Bronze Age". M.E. ALBERTI, E. ASCALONE y L. PEYRONEL (eds.): *Weights in Context: Bronze Age Weighing Systems of Eastern Mediterranean: Chronology, Typology, Material and Archaeological Contexts*. Studi e Materiali 13. Roma: 161-183.
- ASTRUC, M. 1951: *La necrópolis de Villaricos*. Informes y Memorias 25. Madrid.

- AUBET, M.E. 1982: "Tartesios de Setefilla. Algo más que una leyenda". *Revista de Arqueología* 3(22): 36-43.
- AUBET, M.E. 1994: *Tiro y las colonias fenicias de occidente*. Barcelona.
- AUBET, M.E. 1995: "Aproximación a la estructura social y demográfica tartésica". *Actas del Congreso Tartessos 25 años después*. Biblioteca de Urbanismo y Cultura 14. Jerez de la Frontera: 401-409.
- AUBET, M.E. 1997: "Un lugar de mercado en el Cerro del Villar". M.E. AUBET (coord.): *Los fenicios en Málaga*. Universidad de Málaga: 197-213.
- AUBET, M.E. 2002: "Notas sobre tres pesos fenicios del Cerro del Villar (Málaga)". M.G. AMADASI, M. LIVERANI y P. MATTHIAE (eds.): *Da Pyrgi a Mozia. In Memoria di A. Ciasca*. Roma: 29-40.
- AUBET, M.E.; SERNA, M.R.; ESCACENA, J.L. y RUIZ DELGADO, M.M. 1983: *La Mesa de Setefilla. Lora del Rio (Sevilla). Campaña de 1979*. Excavaciones Arqueológicas en España 122. Ministerio de Cultura, Madrid.
- AUBET, M.E., CARMONA, P., CURIÀ, E.; DELGADO, A.; FERNÁNDEZ, A. y PÁRRAGA, M. 1999: *CERRO DEL VILLAR- I. El asentamiento fenicio en la desembocadura del río Guadalhorce y su interacción con el hinterland*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.
- AZUAR, R. (coord.) 2004: *Fouilles de la Rábita de Guardamar I. El ribat califal. Excavaciones e investigaciones (1984-1992)*. Casa de Velázquez, Madrid.
- AZUAR, R.; ROUILLARD, P.; GAILLED RAT, E.; MORET, P., SALA SELLES, F. y BADIE, A. 1998: "El asentamiento orientalizante e ibérico antiguo de "La Rábita",

- Guardamar del Segura (Alicante). Avance de las excavaciones 1996-1998". *Trabajos de Prehistoria* 55(2): 111-126.
- BACHMANN, H.G. 1982: *The identification of slags from archaeological sites*. Institute of Archaeology Occasional Publication 6. London.
- BANDERA ROMERO, M^aL., De la y FERRER ALBELDA, E. 2010: *El Carambolo. 50 años de un tesoro*. Universidad de Sevilla.
- BARON, S.; CARGNAN, J.; LAURENT, S. y PLOQUIN, A. 2006: "Medieval lead making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): tracing ore resources using Pb isotopes". *Applied Geochemistry* 21: 242-252.
- BARROS L. 1989: "A Estação da Quinta do Almaraz, Cinco anos de Escavações arqueológicas". Folheto da Exposição, Museu Municipal de Almada.
- BARROS, L.; CARDOSO, J.L. y SABROSA, A. 1993: "Fenícios na margem sul do Tejo". A.A. Tavares (ed.), *Os Fenícios no Território Português (Lisboa, 1992)*. Estudos Orientais 4. Lisboa: 143-181.
- BARTELHEIM, M.; NIEDERSCHLAG, E. y REHREN, T. 1998. "Research into prehistoric metallurgy in the Bohemian/Saxon Erzgebirge". B. HÄNSEL (ed.): *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas / Man and Environment in European Bronze Age*. Oetkeer-Voges, Kiel: 225-229.
- BASS, G.F. 1961: "The Cape Gelidonya Wreck: Preliminary Report". *American Journal of Archaeology* 65: 267-276.
- BASS, G.F. 1967: "Cape Gelidonya: A Bronze Age Shipwreck". *Transactions of the American Philosophical Society* 57(8). Philadelphia: 1-177.

- BAYLEY, J. 1992: *Non-ferrous metalworking at 16-22 Coppergate. The Archaeology of York 17/7*. Council for British Archaeology, London.
- BAYLEY, J. y ECKSTEIN, K. 1997: "Silver refining: production, recycling, assaying". A. SINCLAIR, E. SLATER y J. GOWLETT (eds.): *Archaeological Sciences 1995. Proceedings of a Conference on the Application of Scientific Techniques to the Study of Archaeology (Liverpool, July 1995)*. Oxford: 107-111.
- BAYLEY, J. y ECKSTEIN, K. 2006: "Roman and medieval litharge cakes: structure and composition". J. PÉREZ ARANTEGUI (ed.): *34th International Symposium on Archaeometry*. Zaragoza: 145-154.
- BAYLEY, J. y REHREN, T. 2007: "Towards a functional and typological classification of crucibles". S. LA NIECE, D.R. HOOK y P.T. CRADDOCK (eds.): *Metals and Mines - Studies in Archaeometallurgy*. Archetype, British Museum. London.
- BEDIA GARCÍA, J. y PÉREZ MACÍAS, J.A. 1993: *Excavaciones arqueológicas en la muralla tartésica de Niebla. Los cortes II-III/92*. Cuaderno Temático 6. Museo Provincial, Niebla.
- BEGEMANN, F. y SCHMITT-STRECKER, S. 1994: "Das Blei von Schiff und Ladung: Seine Isotopie und mögliche Herkunft". S. GISELA, H.H. VON PRITTWITZ y G.G. BAUCHHENS (eds.): *Das Wrack. Der antike Schiffsfund von Mahdia (Kataloge des Rheinischen Landesmuseums Bonn)*. Bonn: 1073-1076.
- BEGEMANN, F.; SCHMITT-STRECKER, S.; PERNICKA, E. y LO SCHIAVO, F. 2001: "Chemical composition and lead isotopy of copper and bronze from Nuragic Sardinia". *European Journal of Archaeology* 4(1): 43-85.
- BELÉN DEAMOS, M^a 2000: "El país: territorio y poblamiento". P. BAZÁN (coord.): *Argantonio: rey de tartessos*. Catálogo de exposición. Fundación El Monte, Sevilla: 79-116.

- BELÉN DEAMOS, M^a; ANGLADA CURADO, R.; JIMÉNEZ, A.; RODRÍGUEZ, L.; ESCACENA, J.L. y LINEROS ROMERO, R. 2000. "Presencia e influencia fenicia en Carmona (Sevilla)". M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 4. Universidad de Cádiz: 1747-1761.
- BELÉN DEAMOS, M^a y ESCACENA J.L. 1993: "Influencia fenicia en la arquitectura antigua de Niebla (Huelva)". *Trabajos de Prehistoria* 50: 139-158.
- BELÉN DEAMOS, M^a; ESCACENA J.L.; ANGLADA CURADO, R.; JIMÉNEZ, A.; PARDO, M^aR. y PASCUAL DEL POBIL, A. 1993: "Arquitectura de tradición fenicia en Carmona (Sevilla)". *SPAL: Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla* 2: 219-242.
- BERNIER, J. y FORTEA, F.J. 1963: "Investigaciones prehistóricas". *Boletín de la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes* 85: 187-198.
- BLANCHARD, I. 1995: *International Lead Production and Trade in the "Age of the Saigerprozess" 1460-1560*. Stuttgart.
- BLANCO, A. y LUZÓN, J.M. 1969: "Pre-roman silver miners at Riotinto". *Antiquity* 43(170): 124-131.
- BLANCO, A. y LUZÓN, J.M. 1975: "Resultados de las excavaciones del primitivo poblado de Río Tinto". *Huelva. Prehistoria y Antigüedad*. Madrid: 235-247.
- BLANCO, A. y ROTHENBERG, B. 1981: *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva*. Huelva.
- BLANCO, A.; LUZÓN, J.M. y RUIZ MATA, D. 1969: "Panorama tartésico en Andalucía Oriental". *Tartessos y sus problemas. V Symposium Internacional de*

Prehistoria Peninsular (Jerez de la Frontera, septiembre 1968). Jerez de la Frontera: 119-162.

BLANCO, A.; LUZÓN, J.M. y RUIZ MATA, D. 1970: *Excavaciones arqueológicas en el Cerro Salomón (Riotinto, Huelva)*. Sevilla.

BLASCO BOSQUED, C. y RÍOS MENDOZA, P. 2010: “La función del metal entre los grupos campaniformes. Oro *versus* cobre. El ejemplo de la Región de Madrid”. *Trabajos de Prehistoria* 67(2): 359-372.

BLASCO BOSQUED, C. y ROVIRA LLORENS, S. 1992-1993: “La metalurgia del cobre y del bronce en la región de Madrid”. *Tabona* 8(2). Universidad de La Laguna, Islas Canarias: 397-415.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J.M^a 1984: “Cástulo, capital of the mining district of Oretania”. *Papers in Iberian Archaeology II*. BAR International Series 193. Oxford: 396-428.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J.M^a 1993: “El enigma de Tarteso en los escritores antiguos y en la investigación moderna”. J.M. BLÁZQUEZ MARTÍNEZ y J.A. EZQUERRA (coords.): *Los enigmas de Tarteso*. Madrid: 11-30.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J.M^a y VALIENTE MALLA, J. 1981: “Materiales procedentes de un poblado del bronce final en Cástulo”. *Zephyrus* 32-33: 195-211.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J.M^a y VALIENTE MALLA, J. 1982: “El poblado de la Muela y la fase orientalizante en Cástulo (Jaén)”. H.G. NIEMEYER (ed.): *Phönizier im Westen: Beiträge del Internationalen Symposium „Die phönizische Expansion im westliche Mittelmeerraum“* (Köln, 24-27 abril 1979). Mainz am Rhein: 407-425.

- BONI, M. y KÖPPEL, V. 1985: "Ore-lead isotope pattern from the Iglesias-Sulcis area (SW Sardinia) and the problem of remobilization of metals". *Mineralium Deposita* 20(3): 185-193.
- BORDREUIL, P.; LAGARGE, J.; LAGARGE, M.E.; BOUNNI, A. y SALIBY, N. 1984: "Les découvertes archéologiques et épigraphiques de Ras Ibn Hani (Syrie) en 1983: un lot d'archives administratives". *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-lettres* 128(2): 398-438.
- BREGLIA, L. 1966: Le antiche rotte del Mediterraneo documentate da monete e pesi. *Studia archaeologica* 8, L'Erma di Bretschneider, Roma.
- BREVART, O.; DUPRE, B. y ALLEGRE, C. 1982: "Metallogenic provinces and the remobilisation process studies by lead isotopes: lead-zinc ore deposits from the southern Massif Central, France". *Economic Geology* 77: 564-574.
- BRILL, R.H. y WAMPLER, J.M. 1965: "Isotope ratios in archaeological objects of lead". W.J. YOUNG (ed.): *Application of science in examination of Works of Art*. Boston Museum of Fine Arts, Boston: 155-166.
- BRILL, R.H. y WAMPLER, J.M. 1967: "Isotope studies of ancient lead". *American Journal of Archaeology* 71(1): 155-166.
- BRON, F. y LEMAIRE, A. 1983: "Poids inscrits phénico-araméens du VIIIe siècle av. J.-C.". *Atti del I Congresso Internazionale di Studi Fenici e Punici*. Roma: 763-770.
- BROODBANK, C.; REHREN, T. y ZIANNI, A. 2007: "Scientific analysis of metal objects and metallurgical remains from Kastri, Kythera". *Annals of the British School in Athens* 102: 221-240.

- BUCHWALD, V.F. 1975: Handbook of iron meteorites, their history, distribution, composition, and structure. 3 Vols. Center for Meteorite Studies, Arizona State University - University of California Press, Berkeley.
- BUCHWALD, V.F. 2005: *Iron and steel in ancient times*. Historisk-filosofiske Skrifter 29. The Royal Danish Academy of Science and Letters. Copenhagen.
- BUENO SERRANO, P. y CERPA NIÑO, J.A. 2008: “Un nuevo enclave fenicio descubierto en la bahía de Cádiz: el Cerro del Castillo, Chiclana”. *SPAL. Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla* 17: 169-206.
- CABRÉ, J.; CABRÉ, M.E. y MOLINERO, A. 1950: *El Castro y la Necrópolis del Hierro Céltico de Chamartín de la Sierra (Ávila)*. Acta Arqueológica Hispánica V. Madrid.
- CALADO, M. y MATALOTO, R. 2001: *Carta Arqueológica do Concelho do Redondo*. Redondo.
- CAMERON, A.E.; SMITH, D.H. y WALKER R.L. 1969: “Mass spectrometry of nanogram size samples of lead”. *Analytical Chemistry* 41: 525-526.
- CAMPOS CARRASCO, J.M. y GÓMEZ TOSCANO, F. 2001: *La Tierra Llana de Huelva: arqueología y evolución del paisaje*. Sevilla.
- CAMPS, G. 1992: “Les creusets de Terrina (Aléria, Haute-Corse)”. *Le Chalcolithique en Languedoc. Ses relations extra-regionales. Archéologie en Languedoc 1990-1991. Colloque International Hommage au Dr. Jean Arnal (Saint-Mathieu-de-Trévières, 20-22 septembre 1990)*. Lattes: 41-49.
- CANALS, A. y CARDELLACH, E. 1997: “Ore lead and sulphur isotope pattern isotope pattern from the low temperatures veins of the Catalan Coastal Ranges (NE Spain)”. *Mineralium Deposita* 32: 243-249.

- CARLÚS, X.; FRANCÉS, J.; MARTÍN, A. y MONTERO RUIZ, I. 1999: “La producció metal·lúrgica”. P. GONZÁLEZ MARCÉN, A. MARTÍN y R. MORA (eds.): *Can Roqueta. Un establiment pagès prehistòric i medieval (Sabadell, Vallès Occidental)*. Excavacions Arqueològiques a Catalunya 16. Barcelona: 169-176.
- CARPINTERO LOZANO, S. 2009: “La metalurgia fenicia en Abdera durante el I milenio a.C.”. *@rqueología y Territorio* 6: 123-136.
- CARRASCO RUS, J. y PACHÓN ROMERO, J.A. 2006: “Sobre la cronología de las fíbulas de codo tipo Huelva”. *Archivo de Prehistoria Levantina* 26: 245-291.
- CARRIAZO ARROQUIA, J. de M. 1969: “El cerro del Carambolo”. *V Symposium Internacional de Prehistoria Peninsular (Jerez de la Frontera, septiembre 1968)*. Barcelona: 311-340.
- CARRIAZO ARROQUIA, J. de M. 1970: *El Tesoro y las primeras excavaciones en “El Carambolo” (Camas, Sevilla)*. Excavaciones arqueológicas en España, 68. Dirección General de Bellas Artes. Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid.
- CARRIAZO ARROQUIA, J. de M. 1973: *Tartessos y el Carambolo: investigaciones arqueológicas sobre la protohistoria de la Baja Andalucía*. Dirección General de Bellas Artes, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid.
- CARRIAZO ARROQUIA, J. de M. 1992: *El Carambolo*. 2ª Edición. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla.
- CARRILLO, J.R., HIDALGO, R., MURILLO REDONDO, J.F. y VENTURA, A. 1999: “Córdoba. De los orígenes a la Antigüedad Tardía”. F. GARCÍA VERDUGO y F. ACOSTA (eds.): *Córdoba en la Historia: la construcción de la Urbe*. Córdoba: 37-74.

- CASTRO MARTÍNEZ, P.V. 1994: *La sociedad de los Campos de Urnas del Nordeste de la Península Ibérica. La necrópolis de El Calvari (El Molar, Priorat, Tarragona)*. BAR International Series 592. Oxford.
- CASTRO MARTÍNEZ, P.V.; LULL, V. y MICÓ, R. 1996: *Cronología de la Prehistoria reciente de la Península Ibérica y Baleares (c. 2800-900 cal ANE)*. BAR International Series 652. Oxford.
- CAVALLINI, M. 2005: *Fortuitum & sordidum opus. Appunti di storia della metallurgia*. Perugia.
- CELESTINO PÉREZ, S. y ZULUETA DE LA IGLESIA, P. 2003: “Los bronce de Cancho Roano”. S. CELESTINO PÉREZ (ed.): *Cancho Roano, IX. Los materiales II*. Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC. Junta de Extremadura, Consejería de Cultura. Mérida, Badajoz: 11-123.
- CHARLES, J.A. 1978: “The development of the usage of tin and tin-bronze: some problems”. A.D. FRANKLIN, J.S. OLIN y T.A. WERTIME (eds.): *The Search for Ancient Tin*. Dumbarton Oaks, Washington: 25-32.
- CHILDE, V.G. 1950: “The Urban Revolution”. *The Town Planning Review* 21(1): 3-17.
- COFFYN, A. 1985: *Le Bronze Final Atlantique dans la Péninsule Ibérique*. Bordeaux.
- COGHLAN, H.H. 1975: *Notes on the prehistoric metallurgy of copper and bronze in the Old World*. Oxford.
- COMENDADOR REY, B. 1998: *Los inicios de la metalurgia en el noroeste de la Península Ibérica*. Brigantium 11. Museo Arqueológico Provincial. A Coruña.
- CONOPHAGOS, C.E. 1980: *Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent*. Ekdotike Hellados, Atenas.

- CONOPHAGOS, C.E. 1989: "La technique de la coupellation des Grecs anciens au Laurium". Y. MANIATIS (ed.): *Archaeometry. Proceedings of the 25th International Symposium*. Amsterdam: 271-289.
- CÓRDOBA ALONSO, I. y RUIZ MATA, D. 2005: "El asentamiento fenicio arcaico de la calle Cánovas del Castillo (Cádiz): un análisis preliminar". S. CELESTINO PÉREZ y J. JIMÉNEZ ÁVILA (eds.): *El periodo orientalizante: Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida, Protohistoria del Mediterráneo Occidental*, Vol. 2. Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 1269-1322.
- CORREIA, V.H. 1993: "Os materiais pré-romanos de Conimbriga e a presença fenícia no baixo vale do Mondego". *Actas do Encontro 'Os Fenícios no Território Português' (Lisboa, 5-6 de junho de 1992)*. Estudos Orientais 4. Instituto Oriental da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa: 229-283.
- CORREA CIFUENTES, C. 1997: "Prospecciones en las Ramblas de las Moreras y los Lorentes (Mazarrón) 1997, 1998, 1999, 2000". *Memorias de Arqueología* 12. Región de Murcia: 715-136.
- CRADDOCK, P.T. 1981: "The composition of the non-ferrous metals from Tejada". B. ROTHENBERG y A. BLANCO (eds.): *Studies in ancient mining and metallurgy in south-west Spain: explorations and excavations in the Province of Huelva*. Institute for Archaeometallurgical Studies, Institute of Archaeology, University of London: 279-280.
- CRADDOCK, P.T. 1995: *Early Metal Mining and Production*. Edinburg University Press. Edinburg.

- CREW, P. 1994: "Currency bars in Great Britain. Typology and function". M. MANGIN (ed.): *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen: archéologie et archéométrie. Actes du Colloque de Besançon (10-13 Novembre 1993)*. Les Belles Lettres, Paris: 346-347.
- CRUZ BERROCAL, M^a; CERRILLO CUENCA, E. y GARCÍA SOLANO, J.A. 2006: "Nuevos datos sobre el Calcolítico de Extremadura: el yacimiento de La Sierrecilla (Santa Amalia, Badajoz)". *SPAL. Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla* 15: 51-70.
- DAYTON, J.E. y DAYTON, A. 1986: "Uses and limitations of lead isotopes in Archaeology". J.S. OLIN y M.J. BLACKMAN (eds.): *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*. Smithsonian Press: 13-41.
- DELGADO HERVÁS, A. 2008: "Cerro del Villar, de enclave comercial a periferia urbana: dinámicas coloniales en la bahía de Málaga entre los siglos VIII y VI a.C.". D. GARCIA I RUBERT; I. MORENO MARTÍNEZ y F. GRACIA ALONSO (coords.): *Contactes. Indígenes i fenicis a la Mediterrània occidental entre els segles VIII i VI a.C. (Simposi d'Arqueologia d'Alcanar, 24-26 novembre 2006)*. Ajuntament d'Alcanar/Signes disseny i comunicació: 69-88.
- DELGADO HERVÁS, A. 2011: "Poder y subalternidad en las comunidades fenicias de la Andalucía mediterránea". *Memorial Luis Siret. Primer congreso de prehistoria de Andalucía. La tutela del patrimonio prehistórico (Antequera, 22-25 septiembre 2010)*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura: 293-304.
- DELIBES DE CASTRO, G.; FERNÁNDEZ MANZANO, J. y HERRÁN MARTÍNEZ, J.I. 2010-2011: "La metalurgia de Cogotas I, entre la tradición y la modernidad. Apuntes sobre dos moldes de fundición hallados en la provincia de Valladolid". *Homenaje a D. Manuel Santonja Alonso*. Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología 46. Madrid: 85-98.

- DELIBES DE CASTRO, G. y FERNÁNDEZ MIRANDA, M. 1988: *Armas y utensilios de bronce en la Prehistoria de las Islas Baleares*. Studia Archaeologica 78. Valladolid.
- DELIBES DE CASTRO, G.; FERNÁNDEZ MIRANDA, M.; FERNÁNDEZ POSSE, M^aD.; MARTÍN, M.C.; MONTERO RUIZ, I. y ROVIRA LLORENS, S. 1991: “Almizaraque (Almería, Spain). Archaeometallurgy during the Chalcolitic in the southeast of the Iberian Peninsula”. P. MOHEN y C. ÉLUÈRE (eds.): *Découverte du Métal*. Picard, Paris: 303-315.
- DELIBES DE CASTRO, G. y MONTERO RUIZ, I. (coords.) 1999: *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. II. Estudios regionales*. Instituto Universitario Ortega y Gasset y Ministerio de Educación y Cultura. Madrid.
- DELPINO, F. 1989-1990: “Siderurgia e Protostoria italiana”. *Studi Etruschi* 56: 3-9.
- DEMAND, N. 2004: “Iron Age Cyprus: recent finds and interpretative strategies”. R. ROLLINGER y C. ULF (eds.): *Commerce and Monetary Systems in the Ancient World: Means of Transmission and Cultural Interaction. Proceedings of the Fifth Annual Symposium of the Assyrian and Babylonian Intellectual Heritage Project Held in Innsbruck, October 3rd–8th 2002*. Melammu Symposia 5. Steiner, Stuttgart: 257-269.
- DOMERGUE, C. 1987: *Catalogue des mines et des fonderies antiques de la Péninsule Ibérique*. 2 Vols. Publications de la Casa de Velázquez. Madrid.
- DOMERGUE, C. y TOLLON, F. 2002: “La mine, les minerais, les métaux (cuivre, argent, plomb)”. J.M^a BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, C. DOMERGUE y P. SILLIÈRES (dirs.): *La Loba (Fuenteobejuna, province de Cordoue, Espagne)*. Mélanges de la Casa de Velázquez. Institut Ausonius, Bourdeaux: 53-83.

- DOONAN, R.; DAY, P. y DIMPOULOU-RETHEMIOTAKI, N. 2007: "Lame excuses for emerging complexity in Early Bronze Age Crete: the metallurgical finds from Poros Katsambas and their context". P. DAY y R. DOONAN (eds.): *Metallurgy in the Early Bronze Age Aegean*. Oxbow Books, Oxford: 98-122.
- DROOP, J.P. 1925: "Excavations at Niebla in the province of Huelva, Spain". *Annals of Archaeology and Anthropology XII*. Liverpool.
- DUELL, P. 1938: *The Mastaba of Mereruka*. Chicago.
- DUNGWORTH, D. y WILKES, R. 2009: "Understanding hammerscale: the use of high-speed film and electron microscopy". *Historical metallurgy* 43(1): 33-46.
- ELAYI, J. y ELAYI, A.G. 1997: *Recherches sur les poids phéniciens*. Suplemento a Transeuphratène 5. Gabalda, Paris.
- ESCACENA, J.L. 1985: "Gadir". *Aula Orientalis* 3: 39-58.
- ESCACENA, J.L. y HENARES, M^aT. 1999: "Un fondo de cabaña de época tartésica en la Puebla del Río (Sevilla). Intervención arqueológica de urgencia". *Anuario Arqueológico de Urgencia 1994/III. Actividades de Urgencia*. Junta de Andalucía: 508-510.
- FANJUL PERAZA, A. y MARÓN SUÁREZ, C. 2006: "La metalurgia del hierro en la Asturias castreña: nuevos datos y estado de la cuestión". *Trabajos de Prehistoria* 63(1): 113-131.
- FARQUHAR, R.M. y VITALI, V. 1989: "Lead isotope measurements and their application to Roman lead and bronze artefacts from Carthage". S.J. FLEMING y H.R. SCHENCK (eds.): *History of technology: the role of metals. MASCA research papers in science and archaeology*. University of Pennsylvania. Philadelphia: 39-45.

- FASNACHT, W. 1991: "Analyses d'objets en cuivre du Néolithique Récent du bassin zürichoïse". *Découverte du métal*. Picard, Paris: 157-166.
- FERNÁNDEZ, J.H. 1973: "Nuevo depósito de hachas de bronce descubierto en la isla de Formentera (Balears)". *Pyrenae* 9: 177-184.
- FERNÁNDEZ FLÓREZ, Á. y RODRÍGUEZ AZOGUE, A. 2010: "El Carambolo, secuencia cronocultural del yacimiento. Síntesis de las intervenciones 2002-2005". M^{al}. DE LA BANDERA ROMERO y E. FERRER ALBELDA (coords.): *El Carambolo. 50 años de un tesoro*. Universidad de Sevilla: 203-270.
- FERNÁNDEZ GÓMEZ, F. 1982: "Nuevos asadores de bronce en el Museo Arqueológico de Sevilla". *Trabajos de Prehistoria* 39: 389-410.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. 1986: "Economía tartésica: minería y metalurgia". *Huelva en su historia* 1: 149-170.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. 1987: *Tejada la Vieja: una ciudad protohistórica*. Huelva Arqueológica IX, 2 Vols. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. (coord.) 1988-1989a: *Tartessos y Huelva*. Huelva Arqueológica X-XI, 3 Vols. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. 1988-1989b: "Aspecto de la minería y la metalurgia en la Protohistoria de Huelva". J. FERNÁNDEZ JURADO (coord.): *Tartessos y Huelva*. Huelva Arqueológica X-XI, Vol. 3 Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva: 178-215.

- FERNÁNDEZ JURADO, J. 1989: “La metalurgia de la plata en época tartésica”. *Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones Mediterráneas y Europeas I*. Madrid: 157-166.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. 1993: “Plata y plomo en el comercio fenicio-tartésico”. A. ARANA CASTILLO, A.M. MUÑOZ AMILIBIA, S. RAMALLO ASENSIO y M^aM. ROS SALA (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*. Universidad de Murcia, Cuadernos 65. Murcia: 131-165.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. 1995: “Economía metalúrgica de Tartessos”. *Actas del Congreso Tartessos 25 años después*. Biblioteca de Urbanismo y Cultura 14. Jerez de la Frontera: 411-416.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. y RUFETE TOMICO, P. 1986: “La orientalización de Tartessos y la presencia griega en Huelva”. *Huelva y su Provincia* 2. Sevilla: 184-186.
- FERNÁNDEZ JURADO, J. y RUIZ MATA, D. 1985: “La metalurgia de la plata en época tartésica en la provincia de Huelva”. *Pyrenae* 21: 23-44.
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, L.E.; SUÁREZ PADILLA, J.; MAYORGA MAYORGA, J.; RAMBLA, A.; NAVARRO LUENGO, I.; ARANCIBIA ROMÁN, A. y ESCALANTE AGUILAR, M^a del M. 1997: “Un poblado indígena del siglo VIII a.C. en la bahía de Málaga. La intervención de urgencia en la plaza de San Pablo”. M.E. AUBET (coord.): *Los Fenicios en Málaga*. Universidad de Málaga: 215-251.
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, L.E.; SUÁREZ PADILLA, J.; CISNEROS GARCÍA, M^aI.; ARANCIBIA ROMÁN, A.; NAVARRO LUENGO, I. y MAYORGA MAYORGA, J. 2001: “Resultados de la intervención efectuada en la Plaza de San

- Pablo. Málaga (Barrio de la Trinidad)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1996/III. Actividades de Urgencia*. Junta de Andalucía: 289-301.
- FIERRO CUBIELLA, J.A. 1995: *Gadir. La historia de un mito*. Regimiento Infantería 11. Cádiz.
- FIGUEIREDO, E.; SILVA, R.J.C.; SENNA-MARTINEZ, J.C.; ARAÚJO, M.F.; BRAZ FERNANDES, F.M. y INÊS VAZ J.L. 2010: "Smelting and recycling evidences from the Late Bronze Age habitat site of Baiões (Viseu, Portugal)". *Journal of Archaeological Science* 37: 1623-1634.
- FLEURY, L. 1990: "Les Moules de L' Age du Bronze en France Atlantique et dans les Iles Britanniques: aspects technologiques et culturels". *Le Bronze Atlantique, 1 Colloque de Beynac*. Beynac: 267-276.
- FLUZIN, Ph. 1999: "Il processo siderurgico: evoluzione storica e indizi archeometrici". C. CUCINI y M. TIZZONI: *La miniera perduta. Cinque anni di ricerche archeometallurgiche nel territorio di Bienno*. Breno-Brescia: 61-91.
- FORBES, R.J. 1950: *Metallurgy in Antiquity: a Notebook for Archaeologists and Technologists*. Brill, Leiden.
- FREESTONE, I.C. 1989: "Refractory Materials and Their Procurement". A. HAUPTMANN, E. PERNIKA y G.A. WAGNER (eds.): *Old World Archaeometallurgy. Proceedings of the International Symposium Heidelberg 1987*. Der Anschnitt, Beiheft 7. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum: 155-162.
- FRISCH, B.; MANSFELD, G. y THIELE, W.R. 1985: *Kamid el-Loz 6. Die Werkstätten der spätbronzezeitlichen Paläste*. Dr. Rudolf Habelt GMBH, Bonn.

- GAILHARD, N. 2009: *Transformation du cuivre au Moyen-Orient du Néolithique à la fin du 3eme millénaire. Etude d'une chaîne technologique*. BAR International Series 1911. Oxford.
- GALÁN, E. y MIRETE, S. 1979: *Introducción a los minerales de España*. IGME, Madrid.
- GALE, N.H. 1978: "Lead isotopes and Aegean metallurgy". C. DOUMAS (ed.): *Thera and the Aegean World I*. Thera and the Aegean World. London: 529-545.
- GALE, N.H. 1989a: "Archaeometallurgical studies of Late Bronze Age ox-hide copper ingots of the Mediterranean region". A. HAUPTMANN, E. PERNICKA y G.A. WAGNER (eds.): *Old World Archaeometallurgy*. Selbstverlag des Deutschen Bergbau-Museum, Bochum: 247-268.
- GALE, N.H. 1989b: "Lead isotope analyses applied to provenance studies a brief review". Y. MANIATIS (ed.): *Archaeometry, Proceedings of the 25th International Symposium*. Amsterdam: 469-502.
- GALE, N.H., BACHMANN, H.G.; ROTHENBERG, B.; STOS-GALE, Z.A. y TYLECOTE, R.F. 1990: "The adventitious production of iron in the smelting of copper". B. ROTHENBERG (ed.): *The Ancient Metallurgy of Copper*. IAMS, Institute of Archaeology. London: 182-191.
- GALE, N.H. y STOS-GALE, Z.A. 1982: "Bronze Age copper sources in the Mediterranean: a new approach". *Science* 216: 11-18.
- GALE, N.H. y STOS-GALE, Z.A. 1987: "Ox-hide ingots from Sardinia, Crete and Cyprus and the Bronze Age copper trade: new scientific evidence". M.S. BALMUTH (ed.): *Studies in Sardinian Archaeology III. Nuragic Sardinia and the Mycenaean World*. BAR International Series 387. Oxford: 135-178.

- GALE, N.H.; STOS-GALE, Z.A. y GILMORE, G.R. 1985: "Alloy types and copper sources of Anatolian copper alloy artefacts". *Anatolian Studies* 35: 143-174.
- GALE, N.H.; STOS-GALE, Z.A.; HOUGHTON, J. y SPEAKMAN, R. 1997: "Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 4, ores from Cyprus". *Archaeometry* 39: 237-246.
- GALLEGOS DÍAZ, A.J. 1986: "Pertenencia nevado-filábride de los micasquistos de Sierra Alhamilla". *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Ciencias* 6: 11-20.
- GARCÍA ALFONSO, E.M. 2007: *En la Orilla de Tartessos. Indígenas y Fenicios en las Tierras Malagueñas (siglos XI-VI a.C.)*. Fundación Málaga.
- GARCÍA BELLIDO, M^aP. 2002: "Los primeros testimonios metrológicos y monetales de fenicios y griegos en el sur peninsular". *Archivo Español de Arqueología* 75: 93-106.
- GARCÍA BELLIDO, M^aP. 2003: "Los ponderales y sus funciones económica y religiosa". S. CELESTINO PÉREZ (dir.): *Cancho Roano IX. Los materiales arqueológicos II*. Junta de Extremadura, Consejería de Cultura. Mérida: 125-156.
- GARCÍA-GELABERT, M^aP. y BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J.M^a 1996: "Relación entre el proceso histórico: Tartessos/colonización fenicia y la Alta Andalucía". M.A. QUEROL y T. CHAPA (eds.): *Homenaje al profesor Manuel Fernández Miranda*, Vol. I. *Complutum extra* 6. Madrid: 327-338.
- GARCIA I RUBERT, D. y GRACIA ALONSO, F. 2011: "Phoenician trade in the north-east of the Iberian Peninsula: a historiographical problem". *Oxford Journal of Archaeology* 30(1): 33-56. 2011.
- GARCIA I RUBERT, D.; GRACIA ALONSO, F.; MONTERO RUIZ, I.; MORENO MARTÍNEZ, I. y ROVIRA HORTALÀ, M.C. 2007: "Estudio de composición

mediante ED-XRF de materiales metálicos del asentamiento Protohistórico de Sant Jaume Mas D'en Serrà (Alcanar, Montsià, Tarragona)". J. MOLERA, J. FARJAS, P. ROURA y T. PRADELL (eds.): *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría*. Girona: 145-152.

GARCÍA MENÁRGUEZ, A. 1995: "El Cabezo Pequeño del Estaño, Guardamar del Segura: un poblado protohistórico en el tramo final del río Segura". M. MOLINA MARTOS, J.-L. CUNCHILLOS y A. GONZÁLEZ BLANCO (coords.): *El mundo púnico: Historia, sociedad y cultura (Cartagena 17-19 de noviembre de 1990)*. Murcia: 269-280.

GARCÍA SANZ, C. y FERNÁNDEZ JURADO, J. 1999: *La época calcolítica de San Bartolomé de Almonte*. Huelva Arqueológica 15. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva.

GARCÍA SANZ, C. y FERNÁNDEZ JURADO, J. 2000: "Peñalosa (Escacena del Campo, Huelva). Un poblado de cabañas del Bronce Final". *Huelva Arqueológica* 16. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva: 5-87.

GARCÍA SANZ, C. y RUFETE TOMICO, P. 1995: *La ciudad de Tejada La Vieja*. Huelva.

GARRIDO ROIZ, J.P. 1968: *Excavaciones en Huelva. El Cabezo de la Esperanza*. Excavaciones Arqueológicas de España 63. Ministerio de Cultura, Madrid.

GARRIDO ROIZ, J.P. 1970: *Excavaciones en la Necrópolis de La Joya, Huelva (1ª y 2ª Campañas)*. Excavaciones Arqueológicas de España 71. Ministerio de Cultura, Madrid.

GARRIDO ROIZ, J.P. y ORTA GARCÍA, E. 1978: *Excavaciones en la Necrópolis de La Joya, Huelva (3ª, 4ª y 5ª Campañas)*. Excavaciones Arqueológicas de España 96. Ministerio de Cultura, Madrid.

- GARRIDO ROIZ, J.P. y ORTA GARCÍA, E. 1994: *El hábitat antiguo de Huelva (periodos orientalizante y arcaico). La primera excavación arqueológica en la calle del puerto*. Excavaciones Arqueológicas en España 171. Ministerio de Cultura, Madrid.
- GENER BASALLOTE, J.M^a; NAVARRO, M.A.; PAJUELO, J.M.; TORRES, M. y DOMÍNGUEZ-BELLA, S. en prensa: “Las crétulas del siglo VIII a. C. de las excavaciones del solar del Cine Cómic (Cádiz)”. *Madrider Mitteilungen*.
- GENER, M.; ROVIRA, S.; MONTERO, I.; RENZI, M.; RAFEL, N. y ARMADA, X-L. 2007: “Análisis de escorias de plomo del poblado de la Edad del Hierro del Calvari del Molar (Priorat, Tarragona)”. J. MOLERA, J. FARJAS, P. ROURA y T. PRADELL (eds.): *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría (Girona 2005)*. Girona: 163-171.
- GIOT, P.R. y LULZAC, Y. 1998: “Datation à l’Age du Bronze d’une exploitation de cassitérite dans le Finistère”. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 95(4): 589-601.
- GIUMLIA-MAIR, A.R. 1992: “The composition of copper-based small finds from a west Phoenician settlement site and from Nimrud compared with that of contemporary Mediterranean small finds”. *Archaeometry* 34(1): 107-119.
- GÓMEZ RAMOS, P. 1996a: *La tecnología de fundición de metales en la Pre y Protohistoria de la Península Ibérica*. Madrid.
- GÓMEZ RAMOS, P. 1996b: “¿Donde están las toberas de la Edad del Bronce en la Península Ibérica?”. *Acontia* 2: 29-38.
- GÓMEZ RAMOS, P. 1996c: “Hornos de reducción de cobre y bronce en la Pre y Protohistoria de la Península Ibérica”. *Trabajos de Prehistoria* 53(1): 127-143.

- GÓMEZ RAMOS, P. 1999: *Obtención de metales en la prehistoria de la Península Ibérica*. BAR International Series 753. Oxford.
- GÓMEZ RAMOS, P. y ROVIRA LLORENS, S. 2001a: “Aspectos metalúrgicos de ‘El Risco’ y de ‘El Torrejón de Abajo’ (Cáceres)”. J.J. ENRÍQUEZ NAVASCUÉS, A. RODRÍGUEZ DÍAS e I. PAVÓN SODEVILLA: *El Risco Excavación de urgencia en Sierra de Fuentes (Cáceres). 1991-1993*. Memorias de Arqueología Extremeña 4: 195-213.
- GÓMEZ RAMOS, P. y ROVIRA LLORENS, S. 2001b: “Caracterización de escorias de época romana por medio de la microscopía electrónica de barrido”. B.M. GÓMEZ TUBÍO, M.A. RESPALDIZA y M.L. PARDO RODRÍGUEZ (coords.): *III Congreso Nacional de Arqueometría. Sevilla 1999*. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones: Fundación El Monte. Sevilla: 507-514.
- GÓMEZ TOSCANO, F. 2004: “Las murallas de Niebla”. *Andalucía en la historia* 5: 92-95.
- GONZÁLEZ DE CANALES CERISOLA, F.; SERRANO PICHARDO, L. y LLOMPART GÓMEZ, J. 2004: *El emporio fenicio precolonial de Huelva (ca. 900-770 a.C.)*. Colección Historia Biblioteca Nueva. Madrid.
- GONZÁLEZ DE CANALES CERISOLA, F.; SERRANO PICHARDO, L. y LLOMPART GÓMEZ, J. 2006: “Las evidencias más antiguas de la presencia fenicia en el sur de la Península”. *Mainake* 28: 105-128.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1985: “Sobre unos elementos materiales del comercio fenicio en tierras del sudeste peninsular”. *Lucentum* 4: 97-106.

- GONZÁLEZ PRATS, A. 1986: “La Peña Negra V: excavaciones en el poblado del Bronce Antiguo y en el recinto fortificado ibérico (Campaña de 1982)”. *Noticiario Arqueológico Hispánico* 27: 145-263.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1990: “La factoría fenicia de Guardamar”. *Azarbe* 5 (julio). *Suplemento Cultural de la Revista de Moros y Cristianos de Guardamar del Segura*.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1992: “Una vivienda metalúrgica en la Peña Negra (Crevillente, Alicante). Aportación al conocimiento del Bronce Atlántico en la Península Ibérica”. *Trabajos de Prehistoria* 49: 243-257.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1993a: “Quince años de excavaciones en la ciudad protohistórica de *Herna* (La Peña Negra, Crevillente, Alicante)”. *Saguntum* 26: 181-188.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1993b: “La metalurgia del Bronce Final en el sudeste de la Península Ibérica”. A. ARANA CASTILLO, A.M. MUÑOZ AMILIBIA, S. RAMALLO ASENSIO y M^aM. ROS SALA (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*. Universidad de Murcia, Cuadernos 65. Murcia: 19-43.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1997: “La Fonteta, 1997. Memoria preliminar de las excavaciones ordinarias en la ciudad fenicia de la desembocadura del río Segura, Guardamar (Alicante)”. *Sapanu. Publicaciones en Internet III y IV*: <http://lafonteta.ua.es/mem97.htm> [Último acceso: 5 de junio de 2012]
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1998a: “La Fonteta: el asentamiento fenicio de la desembocadura del río Segura (Guardamar, Alicante, España). Resultados de las excavaciones 1996-97”. *Rivista di Studi Fenici* 26(2): 191-228.
- GONZÁLEZ PRATS, A. 1998b: “La Fonteta, 1998. Memoria preliminar de los trabajos realizados durante la 3^a campaña de excavaciones ordinarias. Expte. 73/892.”

Sapanu. Publicaciones en Internet III y IV: <http://lafonteta.ua.es/Memoria.htm>
[Último acceso: 5 de junio de 2012]

GONZÁLEZ PRATS, A. 1999: *La Fonteta 1996-1998. El emporio fenicio de la desembocadura del río Segura. Exposición monográfica (Guardamar del Segura, 9-11 abril 1999)*. Alicante.

GONZÁLEZ PRATS, A. 1999-2000: “La Fonteta. El emporio fenicio de la desembocadura del río Segura”. *Sapanu. Publicaciones en Internet III y IV*: <http://lafonteta.ua.es/Fonteta.htm> [Último acceso: 5 de junio de 2012]

GONZÁLEZ PRATS, A. 2001: “La Fonteta, 2001. Informe preliminar de la 5ª campaña de excavaciones arqueológicas en la colonia fenicia de La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante)”. *Sapanu. Publicaciones en Internet III y IV*: <http://lafonteta.ua.es/mem2001.htm> [Último acceso: 5 de junio de 2012]

GONZÁLEZ PRATS, A. 2002: “Los fenicios en la fachada oriental hispana”. La colonización fenicia de occidente. B. COSTA RIBAS y J.H. FERNÁNDEZ GÓMEZ (coords.): *Estado de la investigación en los inicios del siglo XXI. XVI Jornadas de Arqueología Fenicio-Púnica (Eivissa, 2001)*. Treballs del Museu Arqueologic d'Eivissa e Formentera/Trabajos del Museo Arqueologico de Ibiza y Formentera 50. Conselleria de Cultura, Educació i Esports Govern Balear. Ibiza: 127-143.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2007: “Rasgos arquitectónicos y urbanísticos de La Fonteta”. J.L. LÓPEZ CASTRO (ed.): *Las ciudades fenicio-púnicas en el Mediterráneo Occidental. III Coloquio Internacional del Centro de Estudios Fenicios y Púnicos* (Adra, Almería, 2003). Centro de Estudios Fenicios y Púnicos, Universidad de Almería, Almería: 71-82.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2008: “Avance de los análisis de caracterización de las cerámicas de La Fonteta”. J.P. VITA y J.Á. ZAMORA (eds.): *Nuevas perspectivas*

II: la arqueología fenicia y púnica en la Península Ibérica. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 18. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona: 53-79.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2010: “Anzuelos, fibulas, pendientes y cuchillos: una muestra de la producción de los talleres metalúrgicos de La Fonteta”. *Lvcentvm* XXIX: 33-56.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2011a: “Elementos simbólicos y arquitectónicos: estelas betiliformes y cornisas en gola egipcia”. A. GONZALEZ PRATS (ed.): *La Fonteta: excavaciones de 1996-2002 en la colonia fenicia de la actual desembocadura del río Segura, Guardamar del Segura (Alicante)*, Vol. 1. Seminarios Internacionales sobre Temas Fenicios. Alicante: 658-672.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2011b: “Estudio arqueométrico de las cerámicas, 1. Las fichas descriptivas”. A. GONZALEZ PRATS (ed.): *La Fonteta: excavaciones de 1996-2002 en la colonia fenicia de la actual desembocadura del río Segura, Guardamar del Segura (Alicante)*, Vol. 1. Seminarios Internacionales sobre Temas Fenicios. Alicante: 109-243.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2011c: “Los materiales”. A. GONZALEZ PRATS (ed.): *La Fonteta: excavaciones de 1996-2002 en la colonia fenicia de la actual desembocadura del río Segura, Guardamar del Segura (Alicante)*, Vol. 1. Seminarios Internacionales sobre Temas Fenicios. Alicante: 87-108.

GONZÁLEZ PRATS, A. 2011d: “Presentación y Memoria de las excavaciones”. A. GONZALEZ PRATS (ed.): *La Fonteta: excavaciones de 1996-2002 en la colonia fenicia de la actual desembocadura del río Segura, Guardamar del Segura (Alicante)*, Vol. 1. Seminarios Internacionales sobre Temas Fenicios. Alicante: 3-86.

- GONZÁLEZ PRATS, A. y GARCÍA MENÁRGUEZ, A. 1998: *Las cerámicas fenicias de la provincia de Alicante. Exposición monográfica (Guardamar del Segura, 21-24 noviembre 1997)*. Alicante.
- GONZÁLEZ PRATS, A. y GARCÍA MENÁRGUEZ, A. 2000: “El conjunto fenicio de la desembocadura del río Segura, (Guardamar del Segura, Alicante)”. M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 4. Universidad de Cádiz: 1527-1537.
- GONZÁLEZ PRATS, A.; GARCÍA MENÁRGUEZ, A. y RUIZ SEGURA, E. 1997: “Fonteta. Una ciudad fenicia en Occidente”. *Revista de Arqueología* 190 (febrero): 8-13.
- GONZÁLEZ PRATS, A.; GARCÍA MENÁRGUEZ, A. y RUIZ SEGURA, E. 1999: “La Fonteta, 1997. Memoria preliminar de la segunda campaña de excavaciones ordinarias en la ciudad fenicia de la desembocadura del río Segura, Guardamar (Alicante)”. A. GONZÁLEZ PRATS (ed.): *La cerámica fenicia en Occidente: centros de producción y áreas de comercio. Actas del I Seminario Internacional sobre Temas Fenicios (Guardamar del Segura, 21-24 noviembre 1997)*. Alicante: 257-301.
- GONZÁLEZ PRATS, A.; GARCÍA MENÁRGUEZ, A. y RUIZ SEGURA, E. 2002: “La Fonteta: a Phoenician city in the Far West”. M.R. BIERLING y S. GITIN (eds.): *The Phoenicians in Spain. An Archaeological Review of the Eighth–Sixth Centuries B.C.E. A Collection of Articles Translated from Spanish*. Eisenbrauns, Winona Lake, Indiana: 113-125.
- GONZÁLEZ PRATS, A. y RUIZ-GÁLVEZ PRIEGO, M. 1989: “La metalurgia de Peña Negra en su contexto del bronce final del occidente Europeo”. *XIX Congreso Nacional de Arqueología*, Vol. 1. Zaragoza: 367-376.

- GONZÁLEZ PRATS, A. y RUIZ SEGURA, E. 1998: “Memoria preliminar de los trabajos realizados durante la 3ª campaña de excavaciones ordinarias. Expte. 73/89”. *Sapanu. Publicaciones en Internet III y IV*: <http://lafonteta.ua.es/mem2000.htm>
- GONZÁLEZ PRATS, A. y RUIZ SEGURA, E. 1999: “Una zona metalúrgica de la primera mitad del siglo VII en la ciudad fenicia de La Fonteta (Guardamar, Alicante)”. *XXIV Congreso Nacional de Arqueología (Cartagena, 28-31 de octubre de 1997)*, Vol. III. Murcia: 355-357.
- GONZÁLEZ PRATS, A. y RUIZ SEGURA, E. 2000: “La Fonteta, 2000. Informe preliminar de la cuarta campaña de excavaciones ordinarias en la colonia fenicia de la desembocadura del Río Segura (Guardamar, Alicante)”. *Sapanu. Publicaciones en Internet III y IV*: <http://lafonteta.ua.es/mem2000.htm>
- GRAELLS I FABREGAT, R. 2008: *La necrópolis protohistòrica del Milmanda (Vimbodí, Conca de Barberà, Tarragona). Un exemple del món funerari català durant el trànsit entre els segles VII i VI aC*. Hic et Nunc 5. Institut Català d'Arqueologia Clàssica, Tarragona.
- GRAELLS I FABREGAT, R. y SARDÀ SEUMA, S. 2007: “La cratera de la tumba 184 de Agullana y otros soportes y pies calados de Cataluña y el Languedoc: aproximación al origen, uso y significado”. *Rivista di Archeologia* 31: 77-89.
- GRAESER, S. y FRIEDRICH, G. 1970: “Zur Fragestellung und Genese der Blei-Zink Vorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien“. *Mineralium Deposita* 5(4): 365-374.
- GRAN-AYMERICH, J. 1991: *Malaga phénicienne et punique. Recherches franco-espagnoles 1981-1988*. Paris.
- HAARER, P. 2001: *Obeloi and Iron in Archaic Greece* (PhD Dissertation, University of Oxford). Inédita.

- HAUPTMANN, A. 2003: "Rationales of liquefaction and metal separation in earliest copper smelting: basics for reconstructing Chalcolithic and Early Bronze Age smelting process". *Proceedings of the International Conference Archaeometallurgy in Europe. 24- 26 September 2003, Milan, Italy. Proceedings*, Vol. I. Associazione Italiana di Metallurgia. Milano: 459-468.
- HAUPTMANN, A. 2007: *The Archaeometallurgy of copper. Evidence from Faynan, Jordan*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- HAUPTMANN, A.; BEGEMANN, F.; HEITKEMPER, E.; PERNICKA, E. y SCHMITT-STRECKER, S. 1992: "Early copper production at Feinan, Wadi Arabah, Jordan. The Composition of Ores and Copper". *Archeomaterials* 6: 1-33.
- HAUPTMANN, A.; PERNICKA, E. y WAGNER, G.A. (eds.) 1989: *Old World Archaeometallurgy*. Bochum.
- HAUPTMANN, A.; REHREN, T. y SCHMITT-STRECKER, S. 2003: "Early Bronze Age copper metallurgy at Shahr-i Sokhta (Iran), reconsidered". T. STÖLLNER, G. KOERLIN, G. STEFFENS y J. CIERNY (eds.): *Man and Mining / Mensch und Bergbau. Studies in Honour of Gerd Weisgerber*. Der Anschnitt, Beiheft 16. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum: 197-213.
- HERMANN, M.H.; PRANGE, M. y YALÇIN, Ü. 2011: "Pre-Roman mining on Ibiza". A. HAUPTMANN, D. MODARRESSI-TEHRANI y M. PRANGE (eds.): *International Conference "Archaeometallurgy in Europe III". Abstracts (Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Germany June 29th-July 1st 2011)*. Metalla Sonderheft 4: 132.
- HESS, K.; HAUPTMANN, A.; WRIGHT, H. y WHALLON, R. 1998: "Evidence for fourth millennium BC silver production at Fatmalı-Kalecik, East Anatolia". T.

REHREN, A. HAUPTMANN y J.D. MUHLY (eds.): *Metallurgica Antiqua*. Der Anschnitt, Beiheft 8. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum: 57-67.

HOOKE, D.R., FREESTONE, I.C., MEEKS, N.D., CRADDOCK, P.T.; MORENO ONORATO, A. 1991: "The early production of copper-alloys in south-east Spain". E. PERNICKA y G.A. WAGNER (eds.): *Archaeometry '90, International Symposium on Archaeometry (Heidelberg, 2-6 April 1990)*. Birkhäuser Verlag, Basel: 65-76.

HUNT ORTIZ, M.A. 1994: "Minería y metalurgia prerromanas. Las minas de Aznalcóllar". *Revista de Arqueología* 158: 36-41.

HUNT ORTIZ, M.A. 1995: "El foco metalúrgico de Aznalcóllar, Sevilla. Técnicas analíticas aplicadas a la arqueometalurgia del Suroeste de la Península Ibérica". *Tartessos 25 años después (1968-1993). Actas del Congreso conmemorativo del V Symposium Internacional de Prehistoria Peninsular*. Biblioteca de Urbanismo y Cultura 14. Jerez de la Frontera: 447-473.

HUNT ORTIZ, M.A. 1998: "Análisis de isótopos de plomo aplicado a la Arqueología". J. FERNÁNDEZ MANZANO y F.J. SARABIA HERRERO (eds.): *Arqueometalurgia del bronce: introducción a la metodología de trabajo*. Studia Archaeologica 86. Valladolid: 45-68.

HUNT ORTIZ, M.A. 2003: *Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula*. BAR International Series 1188. Oxford.

HUNT ORTIZ, M.A.; MONTERO RUIZ, I.; ROVIRA LLORENS, S.; FERNÁNDEZ FLORES, Á. y RODRÍGUEZ AZOGUE, A. 2010: "Estudio arqueométrico del registro de carácter metálico y metalúrgico de las campañas 2002-2005 en el yacimiento de 'El Carambolo' (Camas, Sevilla)". M^aL. DE LA BANDERA ROMERO y E. FERRER ALBELDA (coords.): *El Carambolo. 50 años de un tesoro*. Universidad de Sevilla: 271-295.

IGME 1972: *Mapa metalogenético de España. Mapa previsor de mineralizaciones de plomo-zinc* (E. 1:1.500.000).

IGME 1972-1973a: *Mapa metalogenético de España, hoja n. 72. Elche* (E. 1:200.000).

IGME 1972-1973b: *Mapa metalogenético de España, hoja n. 73. Alicante* (E. 1:200.000).

IGME 1972-1973c: *Mapa metalogenético de España, hoja n. 79. Murcia* (E. 1:200.000).

IGME 1972-1973d: *Mapa metalogenético de España, hoja n. 84-85. Almería - Garrucha* (E. 1:200.000).

INGO, G.M.; ACQUARO, E.; BERNARDINI, P.; BULTRINI, G.; FRANCISI, M.T.; MANFREDI, L.I.; SCOPPIO, L.; PADELETTI, G. y PETRUCCIOLI, G. 1994: “Primi risultati delle indagini chimico-fisiche sui materiali rinvenuti nel quartiere metallurgico di Tharros (Sardegna)”. *Africa romana* 11: 853-872.

IXER, R.A. 1999: “The Role of Ore Geology and Ores in the Archaeological Provenancing of Metals”. S.M. YOUNG, M. POLLARD, P. BUDD y R.A. IXER (eds): *Metals in Antiquity*. BAR International Series 792. Oxford: 43-52.

JALHAY, E. y PAÇO, A. do 1945: “El castro de Vila Nova de São Pedro”. *Actas y Memorias de la Sociedad Española de Antropología, Etnografía y Prehistoria*. Tomo 20, cuadernos 1-4. Madrid: 5-91.

JIMÉNEZ ÁVILA, J. 2002: *La toréutica orientalizante en la Península Ibérica*. Real Academia de la Historia, Madrid.

- JIMÉNEZ ÁVILA, J. y ORTEGA BLANCO, J. 2001: "El Poblado orientalizante de El Palomar (Oliva de Mérida, Badajoz). Noticia preliminar". D. RUIZ MATA y S. CELESTINO PÉREZ (coords.): *Arquitectura oriental y orientalizante en la Península Ibérica*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid: 227-248.
- JODIN, A. 1966: *Mogador. Comptoir phénicien du Maroc Atlantique*. Etudes et Travaux d'Archéologie Marocaine II. Rabat.
- JONES, G.D.B. 1980: "Roman mines at Riotinto". *Journal of Roman Studies* 70. London: 146-165.
- KAKAVOGIANNI, O.; DOUNI, K. y NEZERI, F. 2008: "Silver Metallurgical Finds dating from the End of the Final Neolithic Period until the Middle Bronze Age in the Area of Mesogeia". I. TZACHILI (ed.): *Aegean Metallurgy in the Bronze Age. Proceedings of an International Symposium held at the University of Crete (Rethymnon, Greece, on November 19-21, 2004)*. Ta Pragmata Publications, Athens: 45-57.
- KARAGEORGHIS, V. 1970: "Note on Sigynnae and Obeloi". *Bulletin de Correspondance Hellenique* 94: 35-44.
- KARAGEORGHIS, V. 1974: "Pikes or obeloi from Cyprus and Crete". *Antichita Cretesi. Studi in onore di Doro Levi I*. Catania: 168-72.
- KARAGEORGHIS, V. y KASSIANIDOU, V. 1999: "Metalworking and recycling in Late Bronze Age Cyprus - the evidence from Kition". *Oxford Journal of Archaeology* 18(2): 171-188.
- KASSIANIDOU, V. 1992a: "Monte Romero, a silver producing workshop of the 7th century B.C. in South-West Spain". *IAMS Newsletter* 18: 7-10.

- KASSIANIDOU, V. 1992b: *Monte Romero (Huelva), a silver producing workshop of the Tartessian Period in SW Spain*. Faculty of Sciences, University of London (diciembre 1992). Tesis de doctorado inédita.
- KASSIANIDOU, V. 1993: *Monte Romero (Huelva), a silver producing workshop of the Tartessian period in SW Spain*. Tesis doctoral. University College of London. Inédita.
- KASSIANIDOU, V. 2003: "The trade of tin and the island of copper". A. GIUMLIA-MAIR y F. LO SCHIAVO (eds.): *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie / The Problem of Early Tin*. BAR International Series 1199. Oxford: 109-119.
- KASSIANIDOU, V. y KNAPP, A.B. 2005: "Archaeometallurgy in the Mediterranean: The Social Context of Mining, Technology, and Trade". E. BLAKE y A.B. KNAPP (eds.): *The Archaeology of Mediterranean Prehistory*. Wiley-Blackwell Publishing: 215-251.
- KASSIANIDOU, V.; ROTHENBERG, B. y ANDREWS, Ph. 1995: "Silver production in the tartessian period. The evidence from Monte Romero". *Arx* 1(1): 17-34.
- KEESMANN, I. 1993: "Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur antiken Kupfer- und Silberverhüttung in Südwestspanien". H. STEUER y U. ZIMMERMANN (eds.): *Montanarchäologie in Europa. Berichte zum Internationalen Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa"*. Sigmaringen: 105-122.
- KEESMANN, I. 2001: "Untersuchungen zur Metallurgie im archaischen und punischen Karthago". *Mediterranean Archaeology* 14: 95-108.
- KEESMANN, I.; GOLSCHANI, F. y NIEMEYER, H.G. 1983: "Schlackenfunde von Toscanos". *Madriider Mitteilungen* 24: 65-75.

- KEESMANN, I. y HELLERMANN, B. 1989: “Mineralogische und chemische Untersuchungen an Schlacken vom Morro de Mezquitilla”. *Madrider Mitteilungen* 30: 92-117.
- KEESMANN, I.; NIEMEYER, H.G.; BRIESE, C.; GOLSCHANI, F. y SCHULZ-DOBRICK, B. 1989: “Un centro primitivo de la elaboración de hierro en la factoría fenicia de Toscanos”. *Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones Mediterráneas y Europeas I*. Madrid: 99-108.
- KEESMANN, I.; MORENO ONORATO, A. y KRONZ, A. 1991-1992: “Investigaciones científicas de la metalurgia de El Malagón y Los Millares, en el Sureste de España”. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 16-17: 247-302.
- KEHL, G.L. 1963: *Fundamentos de la práctica metalográfica*. Madrid.
- KHALIL, L. y BACHMANN, H.G. 1981: “Evidence of copper smelting in Bronze Age Jericho”. *Historical Metallurgy* 15: 103-106.
- KIENLIN, T.L. PERNICKA, E. 2009: “Aspects of the Production of Copper Age Jászladány Type Axes”. T.L. KIENLIN y B. ROBERTS (eds.): *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie. Bonn: 258-276.
- KILIAN, K. 1983: “Ausgrabungen in Tiryns 1981. Bericht zu den Grabungen”. *Archäologischer Anzeiger* 3: 294-328.
- KLEIN, S., DOMERGUE, C.; LAHAYE, Y.; BREY, G.P. y VON KAENEL, H.-M. 2009: “The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). Análisis de los isótopos de plomo y de cobre de los minerales de cobre de Sierra Morena (España)”. *Journal of Iberian Geology* 35(1). 59-68.

- KÖLLING, M.; ROOS, A.M.; KÖLLING A.; SCHULZ, H.; SCHULZ, H.D. y ARTEAGA MATUTE, O. 2001: “El puerto de *Gadir*: investigación geoarqueológica en el casco antiguo de Cádiz”. *Revista atlántica-mediterránea de prehistoria y arqueología social* 4: 345-416.
- KOSTOGLU, M. 2003: “Iron and steel currency bars in Ancient Greece”. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 3(1): 63-60.
- KURTZ, W.S. 1987: *La necrópolis de las Cogotas. Volumen I: Ajuares. Revisión de los materiales de la necrópolis de la Segunda Edad del Hierro en la Cuenca del Duero (España)*. BAR International Series 344. Oxford.
- LANCEL, S. (eds.) 1979: *Byrsa I. Mission archéologique française à Carthage*. Collection de l'École française de Rome 41. Roma.
- LAVADO, M.L.; MOLINA M.; COBOS, L.M.; BLANCO, F. y SIBÓN, J.F. 2000: “El asentamiento antiguo de Cádiz a través de las últimas excavaciones arqueológicas”. M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 2. Universidad de Cádiz: 869-879.
- LE GUEN, M., ORGEVAL, J.-J. y LANCELOT, J. 1991: “Lead isotope behaviour in a polyphased Pb-Zn ore deposit: Les Malines (Cévennes, France)”. *Mineralium Deposita* 26(3): 180-188.
- LEISNER, V. y SCHUBART, H. 1966: “Die kupferzeitliche Befestigung von Pedra do Ouro/Portugal”. *Madriider Mitteilungen* 7: 9-60.
- LILLO, J. 1992: “Vein-type base-metal ores in Linares-La Carolina (Spain): ore-lead isotopic constrains”. *European Journal of Mineralogy* 4: 337-343.
- LIVERANI, M. 1995: *Antico Oriente*. Bari.

- LOMBA MAURANDI, J. y CANO GOMÁRIZ, M^a 1996: “El cabezo de la Fuente del Murtal (Alhama): definición e interpretación de una fortificación de finales del siglo VII a. C. e inicios del VI en la rambla de Algeciras (Alhama de Murcia, Murcia)”. *Memorias de Arqueología* 11. Región de Murcia: 165-204.
- LÓPEZ MELCIÓN, J.B. y MOYA GARRA, A. 2009: “Gestión y metalurgia del bronce en la aldea de Minferri (Juneda, Lleida). Moldes, crisoles, objetos de bronce y horno de refundición”. Póster presentado en ocasión del Congreso *TESME Arqueometalurgia: Aspectos tecnológicos, económicos y sociales en la Prehistoria reciente Europea (Madrid, 25-27 noviembre 2009)*. Inédito.
- LÓPEZ CASTRO, J.L. 2007: “La ciudad fenicia de Baria. Investigaciones 1987-2003”. C. SÁNCHEZ DE LAS HERAS, L. PÉREZ IRIARTE y S. RODRIGO VILA (coords.): *Actas de las Jornadas sobre la Zona Arqueológica de Villaricos (Almería, 26-28 enero 2005)*. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía. Sevilla: 19-39.
- LÓPEZ CASTRO, J.L.; ALEMÁN OCHOTORENA, B. y MOYA COBOS, L. 2010a: “Abdera y su territorio: descubrimientos recientes”. *Los Púnicos de Iberia: Proyectos, Revisiones, Síntesis*. Mainake 32(1): 91-107.
- LÓPEZ CASTRO, J.L.; MARTÍNEZ HAHNMÜLLER, V. y ANA PARDO BARRIONUEVO, C. 2010b: “La ciudad de Baria y su territorio”. *Los Púnicos de Iberia: Proyectos, Revisiones, Síntesis*. Mainake 32(1): 109-132.
- LÓPEZ CASTRO, J.L.; SAN MARTÍN MONTILLA, C. y ESCORIZA MATEU, T. 1987-1988: “La colonización fenicia en el estuario del Almanzora. El asentamiento de Cabecico de Parra de Almizaraque (Cuevas del Almanzora, Almería)”. *Cuadernos de prehistoria y arqueología de la Universidad de Granada* 12-13:157-169.

- LÓPEZ CASTRO, J.L.; SAN MARTÍN MONTILLA, C. y ESCORIZA MATEU, T. 1990: "Memoria de la excavación de urgencia en Cabecico de Parra de Almizaraque (Cuevas del Almanzora, Almería)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1988/III. Actividades de Urgencia*. Junta de Andalucía: 7-11.
- LÓPEZ PARDO, F. y SUÁREZ PADILLA, J. 2003: "Aproximación al conocimiento del paleoambiente, poblamiento y aprovechamiento de los recursos durante el primer milenio a. C. en el litoral occidental de Málaga". C. GÓMEZ BELLARD (coord.): *Ecohistoria del paisaje agrario: la agricultura fenicio-púnica en el Mediterráneo*. Universitat de València: 75-92.
- LORRIO, A.J. 1990: "La Mercadera (Soria). Organización social y distribución de la riqueza en una necrópolis celtibérica". F. BURILLO (coord.): *Necrópolis Celtibéricas. II Simposio sobre los Celtíberos. (Daroca 1988)*. Zaragoza: 39-50.
- LO SCHIAVO, F. 1988: "Il primo ferro in Sardegna". *The first iron in the Mediterranean - Il Primo Ferro nel Mediterraneo. Atti del Convegno Populonia-Piombino 1983 (PACT 21)*, Vol. III.2: Strasbourg: 83-89.
- LO SCHIAVO, F. 2005: "The problem of early tin from the point of view of nuragic Sardinia". F. LO SCHIAVO, A. GIUMLIA-MAIR, U. SANNA y R. VALERA (eds.): *Archaeometallurgy in Sardinia from the origin to the Early Iron Age*. Monographies instrumentum 30. Monique Mergoïl, Montagnac: 377-388.
- LUCAS, M.R. 1991: "Bandeja etrusca de borde perlado hallada en el poblado de la Peña Negra (Crevillente, Alicante)". J. REMESAL y O. MUSSO (coord.): *La presencia de material etrusco en la Península Ibérica*. Barcelona: 337-367.
- LUDWIG, K.R.; VOLLMER, R.; TURI, B.; SIMMONS, K.R. y PERNA, G. 1989: "Isotopic constraints on the genesis of base-metal ores in southern and central Sardinia". *European Journal of Mineralogy* 1: 657-666.

- LUMB, D.; ROAMES, J.; SNOW, H. y WELTON L. 2008: *Tayinat Archaeological Project. Sea Peoples, Neo-Hittites, and Assyrians on the Plain of Antioch*. ASOR. <http://www.utoronto.ca/tap/publications/ASOR%202008%20Poster.pdf> [Último acceso: 7 de junio de 2012]
- LUZÓN, J.M. y RUIZ MATA, D. 1973: *Las raíces de Córdoba. Estratigrafía de la Colina de los Quemados*. Córdoba.
- MAHÉ-LE CARLIER, C.; LULZAC, Y. y GIOT, P.R. 2001: “Étude des déchets de réduction provenant de deux sites d’exploitation d’étain armoricain de l’Age du Bronze et du Moyen Age”. *Revue Archéologique de l’Ouest* 18: 45-56.
- MAIA, H. 1965-1968: “Notas sobre as escórias encontradas no Castro de Carvalhelhos”. *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* XX: 173-180.
- MANCEBO DÁVALOS, J. 1995: “El inicio de los contactos fenicios en el Bajo Guadalquivir”. *Anales de Arqueología Cordobesa* 6. Universidad de Córdoba: 9-28.
- MANCEBO DÁVALOS, J. 2000: “Análisis de los objetos metálicos en el período orientalizante y su conexión con el mundo fenicio. Los cuchillos afalcatados”. M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 4. Universidad de Cádiz: 1825-1834.
- MANSEL, K. 2000: “Los hallazgos de metal procedentes del horizonte más antiguo B1 del Morro de Mezquitilla: (Algarrobo, Málaga)”. M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 4. Universidad de Cádiz: 1601-1614.
- MARCOS POUS, A. 1978: “Aportaciones a la localización y conocimiento de la Corduba prerromana”. *Ampurias* 38-40: 415-422.

- MARCOUX, E. 1998: "Lead isotope systematics in the giant massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite belt". *Mineralium Deposita* 33(1-2): 45-58.
- MARLASCA, R.; ROVIRA HORTALÀ, M.C.; CARLÚS, X.; LARA, C.; LÓPEZ CACHERO, J. y VILLENA, N. 2005: "Materiales de importación en la necrópolis de incineración de Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona)". S. CELESTINO PÉREZ y J. JIMÉNEZ ÁVILA (eds.): *El periodo orientalizante. Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: Protohistoria del Mediterráneo Occidental*. Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 1039-1049.
- MARTÍ JUSMET, F. 1969-1970: "Las hachas de bronce en Cataluña". *Ampurias* 31-32: 105-151.
- MARTÍN GIL, J. y SARABIA HERRERO, F.J. 1995: *Manual de prácticas de Arqueometalurgia*. Valladolid.
- MARTÍN, R. y RAURET, A.M^a 1969: "Las posibilidades metalúrgicas y la distribución de los metales en el área tartésica". *Tartessos y sus problemas. V Symposium Internacional de Prehistoria Peninsular (Jerez de la Frontera, septiembre 1968)*. Jerez de la Frontera: 379-387.
- MARTÍN-ROJAS, I., ESTÉVEZ RUBIO, A. y DELGADO SALAZAR, F. 2007: "Unidades tectónicas y estructura general de la Sierra de Gádor y zonas adyacentes (Cordillera Bética, provincia de Almería): implicaciones paleogeográficas". *Estudios geológicos* 63(1): 27-42.
- MARZOLI, D.; LÓPEZ PARDO, F.; SUÁREZ PADILLA J.; GONZÁLEZ WAGNER, C.; MIELKE, D.P.; LEON MARTÍN, C.; RUIZ CABRERO, L.; THIEMEYER, H. y TORRES ORTIZ, M. 2010: "Los inicios del urbanismo en las sociedades autóctonas localizadas en el entrono del Estrecho de Gibraltar: Investigaciones en

- los Castillejos de Alcorrín y su territorio (Manilva, Málaga)”. *MENGA. Revista de Prehistoria de Andalucía* 1: 153-162.
- MEDEROS MARTÍN, A. 1996: “La cronología absoluta de Andalucía occidental durante la prehistoria reciente (6100-850 a.C.)”. *SPAL. Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla* 5: 45-86.
- MEDEROS MARTÍN, A. 2005: “La cronología fenicia: entre el Mediterráneo oriental y el occidental”. S. CELESTINO PÉREZ y J. JIMÉNEZ ÁVILA (eds.): *El periodo orientalizante: Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida, Protohistoria del Mediterráneo Occidental*, Vol. 1. Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 305-346.
- MEDEROS MARTÍN, A. y RUIZ CABRERO, L.A. 2004: “El pecio fenicio del Bajo de la Campana (Murcia, España) y el comercio fenicio del marfil norteafricano”. *Zephyrus* 57: 263-281.
- MERIDETH, C. 1998: “El factor minero: el caso del estaño y el poblado de Logrosán (Cáceres)”. A. RODRÍGUEZ DÍAZ (coord.): *Extremadura protohistórica: paleoambiente, economía y doblamiento*. Universidad de Extremadura: 73-96.
- MEYERS, P. 2003: “Production of silver in antiquity: ore types identification based upon elemental composition of ancient silver artifacts”. L.V. ZELSET (ed.): *Patterns and process*. Maryland, USA: 271-288.
- MOHEN, J.P. 1981: “Moules Multiples des fondeurs de l'Age du Bronze”. *Antiquités Nationales* 12/13. Paris: 27-33.
- MOHEN, J.P. 1991: “Les sépultures de métallurgistes du début des âges des métaux en Europe”. *Découverte du métal*. Picard, Paris: 131-142.

- MOHEN, J.P. 1992: *Metalurgia Prehistórica, introducción a la Paleometalurgia*. París.
- MOLINA, F. y PAREJA, E. 1975: *Excavaciones en la Cuesta del Negro (Purullena, Granada). Campaña de 1971*. Excavaciones Arqueológicas en España 86. Ministerio de Cultura. Madrid.
- MONGE SOARES, A.M.; VALÉRIO, P.; FRADE, J.C.; OLIVEIRA, M.J.; PATOILLO, D.; RIBEIRO, I.; AREZ, L.; SANTOS, F.J.C. y ARAÚJO, M.F. 2007: "A Late Bronze Age stone mould for flat axes from Casarão da Mesquita 3 (São Manços, Évora, Portugal)". *Proceedings of the 2nd International Conference 'Archaeometallurgy in Europe 2007' (Aquileia, 17-21 June 2007)*. Grado-Aquileia. [CD-ROM].
- MONTEAGUDO, L. 1977: *Die Beile auf der Iberischen Halbinsel*. Praehistorische Bronzefunde IX, 6. Munich.
- MONTENAT, C. 2007: "Le trafic maritime antique d'après l'examen des pierres de lest". P. ROUILLARD, É. GAILLEDROT y F. SALA SELLÉS (eds.): *L'établissement protohistorique de La Fonteta, fin VIII^e-fin VI^e siècle av. J.-C. Fouilles de La Rábida de Guardamar II*. Collection de la Casa de Velázquez 96. Madrid: 473-475.
- MONTENAT, C.; LEROUGE, G. y BERRIER, P. 2007: "Origine des céramiques de La Fonteta d'après l'analyse pétrographique". P. ROUILLARD, É. GAILLEDROT y F. SALA SELLÉS, *L'établissement protohistorique de La Fonteta, fin VIII^e-fin VI^e siècle av. J.-C. Fouilles de La Rábida de Guardamar II*. Collection de la Casa de Velázquez 96. Madrid: 477-491.
- MONTERO RUIZ, I. 1993: "Bronze Age metallurgy in southeast Spain". *Antiquity* 67: 46-57.
- MONTERO RUIZ, I. 2000: *Arqueometalurgia en el Mediterráneo*. Madrid.

- MONTERO RUIZ, I. 2008: "Ajuares Metálicos y aspectos tecnológicos en la metalurgia del Bronce Final-Hierro en el sudeste de la Península Ibérica". A.J. LORRIO: *Qurénima: el Bronce Final del sureste en la Península Ibérica*. Real Academia de la Historia, Madrid.
- MONTERO RUIZ, I.; CASTANYER, P.; GENER, M.; HUNT, M.A.; MATA, J.M.; PONS, E.; ROVIRA LLORENS, S.; ROVIRA HORTALÀ, C.; RENZI, M.; SANTOS RETOLAZA, M. y SANTOS ZALDUEGUI, J.F. 2009a: "Lead and silver metallurgy in Emporion (L'Escala, Girona, Spain)". *Proceedings of the 2nd International Conference 'Archaeometallurgy in Europe 2007' (Aquileia, 17-21 June 2007)*. Grado-Aquileia: 423-434.
- MONTERO RUIZ, I.; GENER, M.; HUNT, M.A.; RENZI, M. y ROVIRA LLORENS, S. 2008: "Caracterización analítica de la producción metalúrgica protohistórica de plata en Cataluña". *Revista d'Arqueologia de Ponent (RAP)* 18: 243-328.
- MONTERO RUIZ, I., GENER, M., RENZI, M., HUNT, M.A., ROVIRA LLORENS, S. y SANTOS ZALDUEGUI, J.F. 2009b: "Provenance of lead in first Iron Age sites in southern Catalonia (Spain)". J.F. MOREAU, R. AUGER, J. CHABOT y A. HERZOG (eds.): *Proceedings for the 36th International Symposium on Archaeometry (Quebec, 2nd-6th May 2006)*. Quebec: 391-398.
- MONTERO RUIZ, I.; GÓMEZ RAMOS, P. y ROVIRA LLORENS, S. 1998: "Estudi analític d'alguns materials metàl·lics de la necrópolis del Pla de la Bruguera". X. CLOP, J.M. FAURA, J.M., GANGONELLS, M. MOLIST y M.C. NAVARRO (coords.): *El Pla de la Bruguera. Centre de distribució SONY. Una necròpoli d'incineració de la Primera Edat del Ferro a Castellar del Vallès (Castellar del Vallès, Vallès Occidental)*. Excavacions Arqueològiques a Catalunya, Generalitat de Catalunya. Barcelona: 101-104.

- MONTERO RUIZ, I.; GÓMEZ RAMOS, P. y ROVIRA LLORENS, S. 2003: “Aspectos de la metalurgia orientalizante en Cancho Roano”. S. CELESTINO PÉREZ (ed.): *Cancho Roano IX. Los materiales arqueológicos. II*. CSIC y Junta de Extremadura, Mérida: 193-210.
- MONTERO RUIZ, I.; HUNT ORTIZ, M.A. y SANTOS ZALDUEGUI, J.F. 2007: “El depósito de la Ría de Huelva: procedencia del metal a través de los resultados de análisis de Isótopos de Plomo”: J. CELIS, G. DELIBES DE CASTRO, J. FERNÁNDEZ MANZANO y L. GRAU LOBO (eds.): *El hallazgo leonés de Valdevimbre y los depósitos del Bronce Final Atlántico en la Península Ibérica*. Estudios y Catálogos 17. Museo de León: 194-209.
- MONTERO RUIZ, I. y ROVIRA LLORENS, S. 2001: “Estudio de los restos metalúrgicos de Cerro Virtud (Cueva de Almanzora, Almería)”. *Anuario Arqueológico de Andalucía 1997/II. Actividades Sistemáticas*. Junta de Andalucía: 30-34.
- MONTERO RUIZ, I.; ROVIRA LLORENS, S. y GÓMEZ -RAMOS, P. 1995: “Plata argárica”. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología* 35: 97-106.
- MONTERO RUIZ, I.; SANTOS, M.; ROVIRA HORTALÀ, M.C.; RENZI, M.; MURILLO, M.; HUNT, M.; GENER, M. y P. CASTAÑER 2010-2011: “Lingotes plano-convexos de cobre en la primera mitad del I milenio AC”. *Homenaje a D. Manuel Santoja Alonso*. Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología 46. Madrid: 99-119.
- MONTERO RUIZ, I.; SIMÓN GORNÉS HACHERO, J.; DE NICOLÁS MASCARÓ, J. y GUAL CARDÓ, J. 2005: “Aproximación a la metalurgia prehistórica de Menorca entre el 2000 y el 650 cal AC”. *Mayurqa* 30: 289-306.

- MORELL, N. 2009: *La metal·lúrgia del plom durant el període ibèric: treball i ús del plom entre els ibers del nord*. Tesis doctoral. Universitat Rovira i Virgili de Tarragona. <http://www.tesisenred.net/handle/10803/8634> [Último acceso: 18 de mayo de 2012].
- MORENO ONORATO, A. 1993: *El Malagón. Un asentamiento de la Edad del Cobre en el Altiplano de Cullar-Chirivel*. Tesis doctoral. Universidad de Granada en 1993. Inédito.
- MORENO ONORATO, A. 2000: “La metalurgia de Peñalosa”. F. CONTRERAS CORTÉS (coord.): *Proyecto Peñalosa: análisis histórico de las comunidades de la Edad del Bronce del piedemonte meridional de Sierra Morena y depresión Linares-Bailén*. Junta de Andalucía, Sevilla: 167-221.
- MORENO ONORATO, A.; CONTRERAS CORTÉS, F.; RENZI, M.; ROVIRA LLORENS, S. y CORTÉS, H. 2010: “Estudio preliminar de las escorias y escorificaciones del yacimiento metalúrgico de la Edad del Bronce de Peñalosa (Baños de La Encina, Jaén)”. *Trabajos de Prehistoria* 67(2): 301-310.
- MOSCATI, S. 1988: “Il territorio e gli insediamenti”. S. MOSCATI (ed.): *I Fenici*. Bombiani. Milano: 26-27.
- MOURA VIANA MATEUS PEREIRA, T.R. 2008: *Os Artefactos Metálicos do Castelo de Castro Marim na Idade do Ferro e em Época Romana. Metalurgia em transição: a amostra numa análise de conjunto*. Tesis doctoral. Universidad de Lisboa: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/393/1/17322_ArtefactosMet00E1licosdoCastelodeCastroMarimVOLI.pdf [Último acceso: 5 de junio de 2012].
- MUHLI, J.D.; MADDIN, R.; STECH, T. y ÖZGEN, E. 1985: “Iron in Anatolia and the nature of the Hittite iron industry”. *Anatolian Studies* 35: 67-84.

- MÜLLER, R., GOLDENBERG, G., BARTELHEIM, M., KUNST, M. y PERNICKA, E. 2007: "Zambujal and the beginnings of metallurgy in southern Portugal". S. LA NIECE, D.R. HOOK y P.T. CRADDOCK (eds.): *Metals and Mines - Studies in Archaeometallurgy*. Archetype, British Museum. London: 15-26.
- MÜLLER, R.; REHREN, T. y ROVIRA LLORENS, S. 2004: "Almizaraque and the early copper metallurgy of Southeast Spain: New data". *Madriider Miteilungen* 45: 33-56.
- MUÑOZ VICENTE, A. 1995-1996: "Secuencia histórica del asentamiento fenicio-púnico de Cádiz: un análisis crono-espacial tras quince años de investigación arqueológica". *Boletín del Museo de Cádiz* 7: 77-105.
- MUÑOZ VICENTE, A. y PERDIGONES MORENO, L. 2000: "Estado actual de la arqueología fenicio-púnica en la ciudad de Cádiz". M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 2. Universidad de Cádiz: 881-891.
- MURILLO REDONDO, J.F. 1993: "Poblamiento protohistórico y minería en el Norte de la provincia de Córdoba". J.F. RODRIGUEZ NEILA (coord.): *Actas del I Coloquio de Historia Antigua de Andalucía (Córdoba 1988)*, Vol. I. Córdoba: 265-382.
- MURILLO REDONDO, J.F. 1994: *La cultura tartésica en el Guadalquivir Medio*. Revista de investigación Ariadna 13-14 (junio-diciembre).
- MURILLO REDONDO, J.F. 1995: "Nuevos trabajos arqueológicos en Colina de los Quemados: el sector del Teatro de la Axerquía (Parque Cruz Conde, Córdoba)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1992/III. Actividades de Urgencia*. Junta de Andalucía: 188-199.

- NEEDHAM, J. 1974: *Science and Civilisation in China. Spagyric Discovery and Invention: Magisteries of Gold and Immortality*, Vol. 5(2). Cambridge University Press.
- NEEDHAM, S. 1996: "Chronology and periodisation in the British Bronze Age". K. RANDSBORG (ed.): *Absolute Chronology: archaeological Europe 2500-500 BC*. Acta Archaeologica 67: 121-140.
- NEGUERUELA, I.; PINEDO, J.; GÓMEZ, M.; MIÑANO, A.; ARELLANO, I. y BARBA, J.S. 2000: "Descubrimiento de dos barcos fenicios en Mazarrón (Murcia)". M. BARTHELEMY y M.E. AUBET (coords.): *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995)*, Vol. 4. Universidad de Cádiz: 1671-1680.
- NEGUERUELA, I., GONZÁLEZ GALLERO, R.; SAN CLAUDIO, M.; MÉNDEZ, A.; PRESA, M. y MARÍN, C. 2004: "Mazarrón-2: el barco fenicio del siglo VII a.C. Campaña de noviembre-1999/marzo 2000". G. MATILLA SÉIQUER, A. EGEA VIVANCOS y A. GONZÁLEZ BLANCO (coords.): *El mundo púnico: religión, antropología y cultura material. Actas II Congreso Internacional del Mundo Púnico (Cartagena, 6-9 Abril 2000)*. Universidad de Murcia: 453-484.
- NIEMEYER, H.G. 1982: "El yacimiento fenicio de Toscanos: balance de la investigación 1964-1979". *Primeras Jornadas Arqueológicas sobre Colonizaciones Orientales*. Huelva Arqueológica VI. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva: 101-127.
- NIEMEYER, H.G. 1997: "El yacimiento fenicio de Toscanos: Urbanística y función". M.E. AUBET (coord.): *Los Fenicios en Málaga*. Universidad de Málaga: 63-86.
- NIEMEYER, H.G. 2001: "Archaeological evidence of early iron technology at Carthage and other Phoenician Settlements". *Mediterranean Archaeology* (Sydney) 14: 83-94.

- NOCETE, F. 2006: "The first specialised copper industry in the Iberian Peninsula: Cabezo Juré (2900-2200 BC)". *Antiquity* 80: 646-654.
- NOCETE, F., ESCALERA, P., LINARES, J.A., LIZCANO, R., ORIHUELA, A., OTERO, R., ROMERO, J.C. y SÁEZ, R. 1999: "Estudio del material arqueológico de la primera campaña de excavación de C. Juré (Alosno, Huelva). Proyecto Odiel". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1994/II. Actividades Sistemáticas*. Junta de Andalucía: 93-104.
- NOCETE, F.; QUEIPO, G.; SÁEZ R.; NIETO, J.M.; INÁCIO, N.; BAYONA, M.R.; PERAMO, A.; VARGAS, J.M.; CRUZ AUÑÓN, R.; GIL IBARGUCHI, J.I. y SANTOS, J.F. 2008: "The smelting quarter of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): the specialised copper industry in a political centre of the Guadalquivir Valley during the third millennium BC (2750-2500 BC)". *Journal of Archaeological Science* 35: 717-732.
- PALOL, P. 1958: *La necrópolis de Agullana*. Madrid.
- PARISE, N. 2003: *El origen de la moneda. Signos premonetarios y formas arcaicas del intercambio*. Bellaterra, Barcelona.
- PELLICER CATALÁN, M. 1983: "El yacimiento protohistórico de Quebrantahuesos (Riotinto, Huelva)". *Noticiario Arqueológico Hispánico* 15: 61-87.
- PELLICER CATALÁN, M. 1996: "Huelva tartésica y fenicia". *Rivista di Studi Fenici* 24(2): 119-140.
- PELLICER CATALÁN, M. 2000: "El proceso orientalizante en el occidente ibérico". *Huelva Arqueológica* 16. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva: 83-184.

- PELLICER CATALÁN, M. y AMORES CARREDANO, F., de 1985: "Protohistoria de Carmona. Los cortes estratigráficos CA-80/A y CA-80/B". *Noticiario Arqueológico Hispánico* 22: 55-189.
- PEÑA SANTOS, A. de la 1988: "Metalurgia gallega de la transición Bronce-Hierro: El Castro de Torroso". *Espacio, Tiempo y Forma*. Serie I, Prehistoria, I. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid: 339-360.
- PEREIRA, I. 1993: "Figueira da Foz. Santa Olaia". *Actas do Encontro 'Os Fenícios no Território Português' (Lisboa, 5-6 de junio de 1992)*. Estudos Orientais 4. Instituto Oriental da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa: 285-304.
- PEREIRA, I. 1996: "Santa Olaia". J. de ALARCÃO y A.I.P. SANTOS (eds.): *De Ulisses a Viriato. O primeiro milénio a.C.* Museu Nacional de Arqueologia, Lisboa: 60-65.
- PEREIRA SIESO, J.; RUIZ TABOADA, A. y CARROBLES SANTOS, J. 2003: "Aportaciones del C-14 al mundo funerario carpetano: la necrópolis de Palomar de Pintado". *Trabajos de Prehistoria* 60(2): 153-168.
- PEREIRA MAIA, M.G. 2000: "Tavira fenícia. O território para Ocidente do Guadiana, nos inícios do I milénio a.C.". *Fenícios y Territorio. Actas del II Seminario Internacional sobre Temas Fenícios (Guardamar del Segura, 9-11 abril 1999)*. Alicante: 121-150.
- PÉREZ MACÍAS, J.A. 1991: "La fundición protohistórica de Monte Romero en Almonaster la Real, Huelva". *Cuadernos del Suroeste* 2: 99-129.
- PÉREZ MACÍAS, J.A. 1996: *Metalurgia extractiva prerromana en Huelva*. Universidad de Huelva.

- PÉREZ MACÍAS, J.A. 1999: "Pico del Oro (Tharsis, Huelva). Contraargumentos sobre la crisis metalúrgica tartésica.". *Huelva en su historia* 7: 71-98.
- PERIS-VICENTE, J.; VALLE-ALGARRA, F.M.; FERRER-ERES, M.A.; GIMENO-ADELANTADO, J.V.; MATEO-CASTRO, R. y SORIANO-PIÑOL, M.D. 2008: "Archaeometrical study of paleometallurgical materials from the archaeological site 'Cerro de las Balsas – Chinchorro' (La Albufereta, Alacant, Spain)". *Microchemical Journal* 90: 142-146.
- PERNICKA, E. 2004: "Copper and Silver in Arisman and Tappeh Sialk and the Early Metallurgy in Iran". T. STÖLLNER, R. SLOTTA y A. VATANDOUST (eds.): *Persia's Ancient Splendour, Mining, Handicraft and Archaeology*. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum: 232-239.
- PERNICKA, E., REHREN, T. y SCHMITT-STRECKER, S. 1998: "Late Uruk silver production by cupellation at Habuba Kabira, Syria". T. REHREN, A. HAUPTMANN, y J.D. MUHLY (eds.): *Metallurgica Antiqua*. Der Anschnitt, Beiheft 8. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum: 123-134.
- PERNICKA, E.; SEELIGER, T.C.; WAGNER, G.A.; BEGEMANN, F.; SCHMITT-STRECKER, S.; EIBNER, C.; ÖZTUNALI, Ö. y BARANYI, I. 1984: "Archäometallurgische Untersuchungen in Nordwestanatolien". *Jahrbuch des RGZM* 31: 533-599.
- PHOTOS, E. 1989: "The question of meteoric versus smelted nickel-rich iron: archaeological evidence and experimental results". *World Archaeology* 20(3): 403-421.
- PHOTOS, E. y SALTER, C.J. 1986: "A Reappraisal of Phase Characterization in Slags". J.S. OLIN y M.J. BLACKMAN (eds.): *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*. Smithsonian Institute: 259-265.

- PHOTOS, E.; TYLECOTE, R.F. y ADAM-VELENI, P. 1988: "The possibility of smelting nickel-rich lateritic iron ores in the Hellenistic settlement of Petres, N.W. Greece". J.E. JONES (ed.): *Aspects of Ancient Mining and Metallurgy. Acta of a British School at Athens Centenary Conference*. University College, N. Wales: 35-43.
- PLANAS PALAU, A. y MADRID AZNAR, J. 1994: *La útil honda balear nutrida de plomo (Silio Italico)*. Ibiza.
- PLANAS PALAU, A. y MARTÍN MAÑANES, Á. 1992: *Pesas premonetales de la Ibiza arcaica*. Ibiza.
- PLEINER, R. 2000: *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*. Archeologický Ústav Av Cr. Praha.
- POLLARD, A.M. y HERON, C. 1996: *Archaeological chemistry*. Cambridge.
- POLVORINOS DEL RÍO, A.; HERNÁNDEZ ARNEDO, M.J.; ALMARZA LÓPEZ, J.; FORTEZA GONZÁLEZ, M. y HURTADO PÉREZ, V.M. 2010: "Caracterización arqueométrica e hipótesis funcional de "crisoles planos" escorificados procedentes del yacimiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz)". M^aE. SAIZ CARRASCO, R. LÓPEZ ROMERO, M^aA. CANO DÍAZ-TENDERO y J.C. CALVO GARCÍA (eds.): *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría (Teruel, 19-21 octubre 2009)*. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense. Teruel: 379-391.
- POLZER, M. y PINEDO REYES, J. 2011: "Bajo de la Campana Wrecks". http://inadiscover.com/projects/all/southern_europe_mediterranean_aegean/bajo_de_la_campana_wrecks_spain/introduction/ [Último acceso: 3 de mayo de 2012].
- POMIÈS, C.; COCHERIE, A.; GUERROT, C.; MARCOUX, E. y LANCELOT, J. 1998: "Assessment of the precision and accuracy of lead-isotope ratios measured by

- TIMS for geochemical applications: example of massive sulphide deposits (Rio Tinto, Spain)". *Chemical Geology* 144: 137-149.
- POTTS, D.T. 2012: *A Companion to the Archaeology of the Ancient Near East*. Blackwell Companions to the Ancient World. Wiley-Blackwell.
- PRANGE, M. 2001: *5000 Jahre Kupfer im Oman. Band II. Vergleichende Untersuchungen zur Charakterisierung des omanischen Kupfers mittels chemischer und isotopischer Analysenmethoden*. Metalla 8. Bochum: 1-126.
- PRIEGO FERNÁNDEZ DEL CAMPO, C. y QUERO CASTRO, S. 1992: *El Ventorro, un poblado prehistórico de los albores de la metalurgia*. Estudios de Prehistoria y Arqueología Madrileñas 8. Museos Municipales, Ayuntamiento de Madrid-Consejería de Cultura.
- PRIMAS, M. 2003: "The use of tin and lead in Bronze Age metallurgy". A. GIUMLIA-MAIR y F. LO SCHIAVO (eds.): *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie / The Problem of Early Tin*. BAR International Series 1199. Oxford: 87-91.
- QUEIXALOS, I.; MENU, M. y MOHEN, J.P. 1987: "Creusets pour la fonte des alliages à base de cuivre du bronze final au Fort-Harrouard à Sorel Moussel (Eure-et-Loir)". *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 85: 23-30.
- RAFEL, N., ARMADA, X.-L.; BELARTE, M.C.; FAIRÉN, S.; GASULL, P.; GRAELLS, R.; MORELL, N.; PÉREZ, A. y VILLALBA, P. 2008: "El área minero-metalúrgica del Baix Priorat (Tarragona) en la protohistoria. Explotación y redes de intercambio". *Revista d'Arqueologia de Ponent* 18: 245-269.
- RAHMSTORF, L. 2006: "In Search of the Earliest Balance Weights, Scales and Weighing Systems from the East Mediterranean, the Near and Middle East". M.E. ALBERTI, E. ASCALONE y L. PEYRONEL (eds.): *Weights in Context: Bronze*

Age Weighing Systems of Eastern Mediterranean: Chronology, Typology, Material and Archaeological Contexts. Studi e Materiali 13. Roma: 9-45.

RAMÍREZ DELGADO, J.R. 1982: *Los primitivos núcleos de asentamiento en la ciudad de Cádiz*. Cádiz.

RAMÓN TORRES, J. 1991: “El yacimiento fenicio de sa Caleta”. *I-IV Jornadas de Arqueologia fenicio-púnica (Ibiza 1986-89)*. Treballs del Museu Arqueologic d'Eivissa e Formentera/Trabajos del Museo Arqueologico de Ibiza y Formentera 24. Conselleria de Cultura, Educació i Esports Govern Balear. Ibiza: 177-196.

RAMÓN TORRES, J. 2007: *Excavaciones arqueológicas en el asentamiento fenicio de Sa Caleta (Ibiza)*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 16. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona.

RAMÓN TORRES, J.; RAFEL, N.; MONTERO RUIZ, I.; SANTOS, M.; RENZI, M.; HUNT, M.A. y ARMADA, X.L. 2011: “Comercio protohistórico y redes de distribución: a propósito del registro del nordeste peninsular y de la circulación de mineral de plomo en Ibiza y el Bajo Priorato (Tarragona)”. *Saguntum* 43. *Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*: 55-81.

RAMOS FERNÁNDEZ, R. 1974: *De Heliké a Illici*. Alicante.

READ, T.E. 1934: “Metallurgical fallacies in archaeological literature”. *American Journal of Archaeology* 38: 382-389.

REBELO, P.; SANTOS, R.; NETO, N.; FONTES, T.; MONGE SOARES, A.M.; DE DEUS, M. y SOFIA ANTUNES, A. 2009: “Dados preliminares da intervenção arqueológica no sítio do Bronze Final de Entre Águas 5 (Serpa)”. *IV Encuentro de Arqueología del Suroeste Peninsular (Aracena, 27-29 noviembre 2008)*. Huelva: 281-289.

- REDONDO, J.C.; BUENO, P.; JIMÉNEZ, P.; DE BALBÍN, R.; FERNÁNDEZ, J.A.; PINO, E. y ALCOLEA, J. 1989: “El yacimiento de Rillo de Gallo (Guadalajara)”. *Wad-al-Hayara: Revista de estudios de Guadalajara* 16: 31-73.
- REHREN, T. 1997: “Cupel and crucibles. The Xanten process of silver recovery”. *Tiegelmetallurgie. Tiegelprozesse und ihre Stellung in der Archäometallurgie*. Habilitationsschrift zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur habilitatus. Freiberg.
- REHREN, T. y PRANGE, M. 1998: “Lead metal and patina: a comparison”. T. REHREN, A. HAUPTMANN y J.D. MUHLY (eds.): *Metallurgica Antiqua*. Der Anschnitt Beiheft 8. Bochum: 183-196.
- RENZI, M. 2007: “Estudio tipológico y funcional de las toberas del yacimiento de La Fonteta (Guardamar del Segura)”. *Trabajos de Prehistoria* 64(1): 165-177.
- RENZI, M. 2010: “La producción de “lingotes-hacha” en el Levante peninsular: nueva valoración a partir de los materiales de La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante)”. *Revista de Arqueología de Ponent* 20: 127-143.
- RENZI, M.; BODE, M.; MARZOLI, D. y SUÁREZ PADILLA, J. en prensa_B: “Archäometallurgische Untersuchungen an Funden der endbronzezeitlichen Siedlung Los Castillejos de Alcorrín (Manilva, Málaga)”. *Madriider Mitteilungen* 54.
- RENZI, M.; HAUPTMANN, A. y ROVIRA, S. 2007: “Phoenician metallurgical production at SE-Spain”: *Proceedings of the 2nd International Conference ‘Archaeometallurgy in Europe 2007’ (Aquileia, 17-21 June 2007)*. Grado-Aquileia. [CD-ROM].

- RENZI, M.; MONTERO-RUIZ, I. y BODE, M. 2009: "Non-ferrous metallurgy from the Phoenician site of La Fonteta (Alicante, Spain): a study of provenance". *Journal of Archaeological Science* 36: 2584-2596.
- RENZI, M.; MONTERO RUIZ, I.; ROVIRA LLORENS, S.; GENER, M.; ROVIRA HORTALÀ, M.C.; HUNT, M.A.; CASTANYER, P. y SANTOS M. 2008: "Actividades metalúrgicas en Ampurias (L'Escala, Girona, España)". S. ROVIRA LLORENS, M. GARCÍA HERAS, M. GENER e I. MONTERO RUIZ (eds.): *Actas. VII Congreso Ibérico de Arqueometría (Madrid, 8-10 octubre 2007)*. Madrid: 460-470.
- RENZI, M. y ROVIRA LLORENS, S. 2007: "Escorias metalúrgicas del yacimiento fenicio de La Fonteta (Alicante). Estudio preliminar". J. MOLERA, J. FARJAS, P. ROURA y T. PRADELL (eds.): *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría (Girona 2005)*. Girona: 163-171.
- RENZI, M.; ROVIRA LLORENS, S.; ROVIRA HORTALÀ, M.C. y MONTERO RUIZ, I. en prensa_A: "Questioning research on early iron in the Mediterranean". *WIC conference proceedings (London, 16-20 February 2009)*.
- ROCHA, A. dos S. 1908: "Memórias e explorações arqueológicas II. Estações pré-romanas da Idade do Ferro nas vizinhanças da Figueira". *Portugália* 2: 301-359.
- RODRÍGUEZ DÍAZ, A.; PAVÓN SOLDEVILLA, I.; MERIDETH, C. y JUAN I TRESSERRAS, J. 2001: *El Cerro de San Cristóbal, Logrosán, Extremadura, Spain: The archaeometallurgical excavation of a Late Bronze Age tin-mining and metalworking site*. BAR International Series 922. Oxford.
- ROMÁN RODRÍGUEZ, J.M. y BELÉN DEAMOS, M^a 2007: "Fenicios en Carmona: Novedades Arqueológicas". M^a BELÉN DEAMOS y M. BENDALA GALÁN: *El Nacimiento de la Ciudad: la Carmona Protohistórica. Actas del V Congreso de*

Historia de Carmona (19-21 de septiembre de 2005). Ayuntamiento de Carmona-Universidad de Sevilla: 479-510.

ROMERO SILVA, J.C. 2003: *Minerales y rocas de la provincia de Málaga*. Servicio de publicaciones de la Diputación de Málaga.

ROS SALA, M^aM. 1993: “El trabajo del hierro en el poblado protohistórico de El Castellar (Murcia). I: análisis arqueológico”. A. ARANA CASTILLO, A.M. MUÑOZ AMILIBIA, S. RAMALLO ASENSIO y M^aM. ROS SALA (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*. Universidad de Murcia, Cuadernos 65. Murcia: 71-110.

ROS SALA, M^aM. 1995: “Metalurgia de la plata en el yacimiento fenopúnico de Punta de los Gavilanes (Mazarrón, Murcia). Estudio arqueológico”. *Actes du IIIème Congrès International des Études Phéniciennes et Puniquees (Tunis, 11-16 novembre 1991)*, Vol. II. Tunis: 356-362.

ROS SALA, M^aM. en prensa: “Fenicios y púnicos en la Bahía de Mazarrón (Murcia, España) desde la perspectiva ocupacional del promontorio costero de la Punta de los Gavilanes”. *Proceedings of the VI International Congress of Phoenician and Punic Studies/Actas do VI Congresso Internacional de Estudos Fenícios e Punicos (Lisboa 2005)*. Universidad de Lisboa.

ROSTOKER, W. y DVORAK, J.R. 1991: “Some experiment with co-smelting to copper alloys”. *Archaeomaterials* 5: 5-20.

ROSTOKER, W.; MCNALLAN, M. y GEBHARD, E.R. 1983: “Melting/smeltering of bronze at Isthmia”. *Journal of the Historical Metallurgy Society* 17(1): 23-27.

ROTHENBERG, B. y BLANCO, A. 1981: *Ancient mining and Metallurgy in south-west Spain*. IAMS, Institute of Archaeology. London.

- ROTHENBERG, B.; GARCÍA PALOMERO, F.; BACHMANN, H.G. y GOETHE J.W. 1989: “The Rio Tinto Enigma”. *Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas. Coloquio Internacional Asociado (Madrid, 24-28 octubre 1985)*, Vol. 1. Madrid: 57-70.
- ROUILLARD, P.; GARILLEDAT, E. y SALA SELLES, F. 2007. *L'établissement protohistorique de La Fonteta (fin VIII–fin VI siècle av. J.–C.)*. Casa de Velázquez. Madrid.
- ROVIRA HORTALÀ, M.C. 2005: “Los talleres metalúrgicos fenicios del Cerro del Villar (Guadalhorce, Málaga)”. A. SPANÒ GIAMMELLARO (ed.): *Atti del V Congresso Internazionale di Studi Fenici e Punici (Marsala-Palermo, 2-8 ottobre 2000)*. Università degli Studi di Palermo, Palermo: 1261-1270.
- ROVIRA HORTALÀ, M.C. 2006: “El bronze inicial a Catalunya des de la perspectiva metal·lúrgica”. *Cypsela* 16: 135-146.
- ROVIRA HORTALÀ, M.C. 2007: “Informe arqueometal·lúrgic de materials del jaciment fenici de sa Caleta”. J. RAMÓN TORRES: *Excavaciones arqueológicas en el asentamiento fenicio de Sa Caleta (Ibiza)*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 16. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona: 349-352.
- ROVIRA HORTALÀ, M.C. 2008: “Tecnología de las primeras manufacturas férricas en el noreste de la Península Ibérica - First Iron technology in Northern Iberian Peninsula”. S. ROVIRA LLORENS, M. GARCÍA HERAS, M. GENER e I. MONTERO RUIZ (eds.): *Actas. VII Congreso Ibérico de Arqueometría (Madrid, 8-10 octubre 2007)*. Madrid: 458-467.
- ROVIRA HORTALÀ, M.C.; PALOMO, A. y RODRÍGUEZ, A. 2007: “Metalurgia prehistórica en la Catalunya prelitoral: los instrumentos de bronce de Can Roqueta II (Sabadell, Barcelona)”. J. MATA-PERELLÓ (ed.): *Actas del I Congreso*

Internacional de minería y metalurgia en el contexto de la historia de la humanidad: pasado, presente y futuro (Mequinenza, 6-9 julio 2006). Sociedad Española para la defensa del patrimonio geológico y minero, Mequinenza: 505-510.

ROVIRA LLORENS, S. 1989: “Recientes aportaciones para el conocimiento de la metalurgia primitiva en la provincia de Madrid: un yacimiento campaniforme en Perales del Río (Getafe, Madrid)”. *Congreso Nacional de Arqueología XIX*, Vol. I. Zaragoza: 361-363.

ROVIRA LLORENS, S. 1993: “La metalurgia de la Edad del Hierro en la Península Ibérica: una síntesis introductoria”. A. ARANA CASTILLO, A.M. MUÑOZ AMILIBIA, S. RAMALLO ASENSIO y M^aM. ROS SALA (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*. Universidad de Murcia, Cuadernos 65. Murcia: 45-70.

ROVIRA LLORENS, S. 1994: “Composición y estructura de los objetos metálicos arqueológicos: metodología analítica”. M^aL. DE LA BANDERA ROMERO y F. CHAVES TRISTÁN (eds.): *Métodos analíticos y su aplicación a la arqueología*. Ecija: 33-50.

ROVIRA LLORENS, S. 1995: “De Metalurgia Tartésica”. *Tartessos 25 años después (1968-1993)*. *Actas del Congreso conmemorativo del V Symposium Internacional de Prehistoria Peninsular*. Biblioteca de Urbanismo y Cultura 14. Jerez de la Frontera: 475-506.

ROVIRA LLORENS, S. 2000: “Continuismo e innovación en la metalurgia ibérica”. C. MARA PARREÑO y G. PÉREZ JORDÁ (eds.): *Ibers. Agricultors, artesans i comerciants. III Reunió sobre Economia en el Món Ibèric (València 1999)*. Saguntum-PLAV. Extra-3. Valencia: 209-221.

ROVIRA LLORENS, S. 2002: “Early slags and smelting by-products of copper metallurgy in Spain”. M. BARTELHEIM, E. PERNICKA y R. KRAUSE (eds.):

Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt / The Beginnings of Metallurgy in the Old World. Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft 1. TU Bergakademie Freiberg. Verlag Marie Leidorf GmbH. Rahden/Westfalia: 83-98.

ROVIRA LLORENS, S. 2004: “Tecnología metalúrgica y cambio cultural en la prehistoria de la Península Ibérica”. *Norba. Revista de historia* 17: 9-40.

ROVIRA LLORENS, S. 2005a: “La première métallurgie dans la Péninsule Ibérique et le sud-est de la France: similitudes et différences”. P. AMBERT y J. VAQUER (dirs.): *La Première Métallurgie en France et dans les Pays Limitrophes. Carcassonne 28-30 Septembre 2002. Actes du colloque international*. Société Préhistorique Française, Mémoire XXXVII. París: 177-185.

ROVIRA LLORENS, S. 2005b: “Metalurgia de crisol: la obtención de cobre en la prehistoria de la Península Ibérica”. *De Re Metallica* 5: 87-94.

ROVIRA LLORENS, S. 2007: “La producción de bronce en la Prehistoria”. J. MOLERA, J. FARJAS, P. ROURA y T. PRADELL (eds.): *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría (Girona 2005)*. Girona: 21-35.

ROVIRA LLORENS, S. y AMBERT, P. 2002: “Vasijas cerámicas para reducir minerales de cobre en la Península Ibérica y en la Francia Meridional”. *Trabajos de Prehistoria* 59(1): 89-105.

ROVIRA LLORENS, S. y BURILLO, F. 2007: “Experimentos de fundición de minerales de hierro en la ciudad-estado celtibérica de Segeda (Mara, Zaragoza)”. J. MOLERA, J. FARJAS, P. ROURA y T. PRADELL (eds.): *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría (Girona 2005)*. Girona: 137-143.

- ROVIRA LLORENS, S.; CONSUEGRA, S. y MONTERO RUIZ, I. 1987: “Estudio arqueometalúrgico de materiales de Tejada La Vieja”. J. FERNÁNDEZ JURADO (ed.): *Tejada La Vieja: una ciudad protohistórica*. Huelva Arqueológica IX, Vol. 1. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva: 221-234.
- ROVIRA LLORENS, S. y GÓMEZ RAMOS, P. 2003: *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. III. Estudios metalográficos*. Madrid.
- ROVIRA LLORENS, S. y MONTERO RUIZ, I. 1994: “Metalurgia campaniforme y de la Edad del Bronce en la Comunidad de Madrid”. BLASCO BOSQUED, C. (ed.): *El Horizonte Campaniforme en la Región de Madrid en el Centenario de Ciempozuelos*. Universidad Autónoma de Madrid: 137-171.
- ROVIRA LLORENS, S.; MONTERO RUIZ, I.; ORTEGA, J. y JIMÉNEZ, J. 2005: “Bronce y trabajo del bronce en el poblado orientalizante de 'El Palomar' (Oliva de Mérida, Badajoz)”. S. CELESTINO PÉREZ y J. JIMÉNEZ ÁVILA (eds.): *El Periodo Orientalizante. Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: Protohistoria del Mediterráneo Occidental*. Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 1231-1240.
- ROVIRA LLORENS, S.; MONTERO RUIZ, I. y RENZI, M. 2009: “Experimental co-smelting of copper-tin alloys”. T.L. KIENLIN y B. ROBERTS (eds.): *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie. Bonn: 407-414.
- ROVIRA LLORENS, S. y RENZI, M. 2010: “Las operaciones pirometalúrgicas y sus subproductos”. I. MONTERO RUIZ (coord.): *Manual de Arqueometalurgia*. Cursos de Formación Permanente para Arqueólogos 1. Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid y Sección de Arqueología del Colegio de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Madrid (CDL): 88-122.

- RUIZ DE SMEDT, M^ªC. 1992: *Metalurgia de época fenicia en Ibiza: el yacimiento de Sa Caleta*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona. Inédita.
- RUIZ-GÁLVEZ PRIEGO, M. 1990: “La metalurgia de Peña Negra I”. A. GONZÁLEZ PRATS: *Nueva luz sobre la Protohistoria del Sudeste*. Universidad de Alicante: 317-343.
- RUIZ MATA, D. 1981: “El poblado metalúrgico de época tartésica de San Bartolomé (Almonte, Huelva)”. *Madrider Mitteilungen* 22: 150-170.
- RUIZ MATA, D. 1986: “Aportaciones al análisis de los inicios de la presencia fenicia en Andalucía suroccidental: según las excavaciones del cabezo de S. Pedro (Huelva), S. Bartolomé (Almonte, Huelva), Castillo de Doña Blanca (Puerto de Santa María, Cádiz) y el Carambolo (Sevilla)”. *Homenaje a Luis Siret (1934-1984)*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura: 537-556.
- RUIZ MATA, D. 1989: “Huelva, un foco temprano de actividad metalúrgica durante el bronce final”. M.E. AUBET (ed.): *Tartessos. Arqueología protohistórica del Bajo Guadalquivir*. Sabadell: 209-243.
- RUIZ MATA, D. 1993: “Fenicios en la bahía gaditana: el castillo de Doña Blanca (el Puerto de Santa María, Cádiz)”. A. ARANA CASTILLO, A.M. MUÑOZ AMILIBIA, S. RAMALLO ASENSIO y M^ªM. ROS SALA (eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*. Universidad de Murcia, Cuadernos 65. Murcia: 167-188.
- RUIZ MATA, D. 1999: “La fundación de Gadir y el Castillo de Doña Blanca: contrastación textual y arqueológica”. *Complutum* 10: 279-317.

- RUIZ MATA, D.; BLÁZQUEZ, J.M^a y MARTÍN DE LA CRUZ, J.C. 1981: "Excavaciones en el Cabezo de San Pedro (Huelva). Campaña de 1978". *Huelva Arqueológica* V, Madrid: 149-316.
- RUIZ MATA, D. y FERNÁNDEZ JURADO, J. 1986: *El yacimiento metalúrgico de época tartésica de San Bartolomé de Almonte*. Huelva Arqueológica VIII. Diputación Provincial de Huelva. Sección de Arqueología. Huelva.
- RUIZ MATA, D. y PÉREZ, C.J. 1995: *El poblado fenicio del Castillo de Doña Blanca (El Puerto de Santa María, Cádiz)*. Ayuntamiento de El Puerto de Santa María, Cádiz.
- RUIZ TABOADA, A. y MONTERO RUIZ, I. 1999: "The oldest metallurgy in Western Europe". *Antiquity* 73: 897-903.
- SAINZ DE BARANDA, B., GONZALEZ DEL TANAGO, J. y VINALS, J. 2003: "Secondary minerals of the Mazarron-Aguilas, Mining District, Murcia Province, Spain". *Mineralogical Record* 34(4): 315-334.
- SALKIELD, L.U. 1970: *Ancient slag in the south west of the Iberian Peninsula*. Minería Hispana e Iberoamericana. León.
- SALTER, C.J. 1997: "A note on the tin slags from Caerloggas Down, Cornwall and the Upper Merrival blowing-house, Devon". P. BUDD y D. GALE (eds.): *Prehistoric Extractive Metallurgy in Cornwall: Proceedings of a One-day Conference Held at the Camborne School of Mines, Pool, Redruth, Cornwall 11th July 1992*. Cornwall Archaeological Unit, Truro: 45-50.
- SÁNCHEZ SÁNCHEZ-MORENO, V.M.; GALINDO SAN JOSÉ, L.; JUZGADO NAVARRO, M. y DUMAS PEÑUELAS, M. 2011: "La desembocadura del Guadalhorce en los siglos IV y VIII a.C. y su relación con el Mediterráneo". J.C.

DOMÍNGUEZ PÉREZ (ed.): *Gadir y el Círculo del Estrecho revisados. Propuestas de la arqueología desde un enfoque social*. Cádiz: 185-200.

SANTOS ZALDUEGUI, J.F.; GARCÍA DE MADINABEITIA, S.; GIL IBARGUCHI, J.I. y PALERO, F. 2004a: "A lead isotope database: the Los Pedroches - Alcudia area (Spain); implications for archaeometallurgical connections across south-western and south-eastern Iberia". *Archaeometry* 46(4): 625-634.

SANTOS ZALDUEGUI, J.F.; GARCÍA DE MADINABEITIA, S.; GIL IBARGUCHI, J.I. y SAEZ R. 2004b: "Los isótopos del plomo en Arqueología: metodología analítica y ejemplos de aplicación". *Avances en Arqueometría 2003*. Universidad de Cádiz: 25-34.

SCHUBART, H. 1975: *Die Kultur der Bronzezeit im Sudwestern der Iberischen Halbinsel*. Berlin.

SCHUBART, H. 1982: "Asentamientos fenicios en la costa meridional de la Península Ibérica". *Huelva Arqueológica* VI. Diputación Provincial de Huelva, Sección de Arqueología. Huelva: 71-99.

SCHUBART, H. 1985: "Morro de Mezquitilla. Informe preliminar sobre la campaña de excavaciones de 1982 realizada en el asentamiento fenicio cerca de la desembocadura del río Algarrobo". *Noticiario Arqueológico Hispánico* 23: 142-174.

SCHUBART, H. 1987: "Hallazgos fenicios y del Bronce Final en la desembocadura del río Guadiaro (Cádiz)". *Anuario Arqueológico de Andalucía 1986/II. Actividades Sistemáticas*. Junta de Andalucía: 200-207.

SCHUBART, H. 1997: "El asentamiento fenicio del s. VIII a.C. en el Morro de Mezquitilla (Algarrobo)". M.E. AUBET (coord.): *Los Fenicios en Málaga*. Universidad de Málaga: 13-45.

- SCHUBART, H. 1999: “La forja fenicia del hierro en el Morro de Mezquitilla”. A. GONZÁLEZ PRATS (coord.): *La cerámica fenicia en Occidente: centros de producción y áreas de comercio. Actas del I Seminario Internacional sobre Temas Fenicios (Guardamar del Segura, 21-24 noviembre 1997)*. Alicante: 241-256.
- SCHUBART, H. 2002: *Toscanos y Alarcón. El asentamiento fenicio en la desembocadura del río de Vélez. Excavaciones de 1967-1984*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 8. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona.
- SCHUBART, H. 2006: *Morro de Mezquitilla. El asentamiento fenicio púnico en la desembocadura del río Algarrobo*. Anejos de la Revista Mainake. Diputación de Málaga.
- SCHUBART, H. y MAASS-LINDEMANN, G. 1984: “Toscanos. El asentamiento fenicio occidental en la desembocadura del río de Vélez. Excavaciones de 1971”. *Noticiario Arqueológico Hispánico* 18: 39-205.
- SCHULTEN, A. 1922: *Tartessos. Ein Beitrag zu ältesten Geschichte des Westens*. Hamburg.
- SCOTT, D. 1991: *Metallography and Microstructure of ancient and historic metals*. The Getty Conservation Institute.
- SEGAL, I.; ROTHENBERG, B. y BAR-MATTHEWS, M. 1998: “Smelting slag from prehistoric Sites F2 and N3 in Timna, SW Arabah, Israel”. T. REHREN, A. HAUPTMANN y J.D. MUHLY (eds.): *Metallurgica Antiqua*. Der Anschnitt, Beiheft 8. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum: 223-234.
- SENNA-MARTÍNEZ, J.C. 2005: “O outro lado do comércio orientalizante: aspectos da produção metalúrgica no pólo indígena, o caso das Beiras Portuguesas”. S. CELESTINO PÉREZ y J. JIMÉNEZ ÁVILA (eds.): *El periodo orientalizante*.

Actas del III Simposio Internacional de Arqueología de Mérida: Protohistoria del Mediterráneo Occidental, Vol. 2. Anejos de Archivo Español de Arqueología XXXV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Arqueología de Mérida. Mérida: 901-910.

SERNEELS, V. y PERRET, S. 2003: "Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains". *Proceedings of the International Conference Archaeometallurgy in Europe. 24- 26 September 2003, Milan, Italy. Proceedings*, Vol. I. Associazione Italiana di Metallurgia. Milano: 469-479.

SEVA ROMÁN, R.; BIETE BAÑÓN, C.; LANDETE RUIZ, M^aD. y VIDAL BERNABEU, G. 2011: "Estudio arqueométrico de las cerámicas, 2". A. GONZALEZ PRATS (ed.): *La Fonteta: excavaciones de 1996-2002 en la colonia fenicia de la actual desembocadura del río Segura, Guardamar del Segura (Alicante)*, Vol. 1. Seminarios Internacionales sobre Temas Fenicios. Alicante: 244-258.

SIMÓN GARCIA, J.L. 1996: "Utillaje prehistórico del País Valenciano. Los crisoles". *Acontia. Revista de Arqueología* 2. Valladolid: 39-51.

SIMÓN GARCIA, J.L. 1998: *La metalurgia prehistórica valenciana*. Diputación de Valencia.

SINCLAIR, A.J.; MACQUAR, J.C. y ROUVIER, H. 1993: "Re-evaluation of the lead isotopic data, southern Massif Central, France". *Mineralium Deposita* 28: 122-128.

SIRET, L. 1908: *Villaricos y Herrerías. Antigüedades púnicas, romanas, visigóticas y árabes: memoria descriptiva e histórica*. Madrid.

SIRET, L. 1913: *Questions de chronologie et d'ethnographie ibériques. I. De la fin du Quaternaire à la fin du Bronze*. Paul Geuthner, Paris.

- SIRET, E. y SIRET, L. 1890: *Las primeras edades del metal en el sureste de España*. Barcelona.
- SKOOG, D.; HOLLER, J. y NIEMAN, T. 2000: *Principios de análisis instrumental*. McGraw-Hill-Interamericana de España. Madrid.
- STOS-GALE, Z.A. 2001: "The impact of the natural sciences on studies of *Hacksilber* and early silver coinage". M.S. BALMUTH (ed.): *Hacksilber to coinage: new insights into the monetary history of the Near East and Greece*. Numismatic Studies no. 24, American Numismatic Society, New York: 53-76.
- STOS-GALE, Z.A. y GALE, N.H. 1981: "Sources of galena, lead and silver in Predynastic Egypt". *Actes du XX Symposium d'Archéométrie*, Vol. III. Bulletin de Liaison du Groupe des Méthodes Physiques et Chimiques de l'Archéologie. Supplément. Paris: 285-295.
- STOS-GALE, Z.A. y MACDONALD, C.F. 1991: "Sources of metals and trade in the Bronze Age Aegean". N.H. GALE (ed.): *Bronze Age trade in the Mediterranean*. Paul Astroms Forlag. Jonsered: 249-288.
- STOS-GALE, Z.A.; GALE, N.H. y ANNETTS, N. 1996: "Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry data base 3, ores from the Aegean, part 1". *Archeometry* 38: 381-390.
- STOS-GALE, Z.A.; GALE, N.H.; ANNETTS, N.; TODOROV, T.; LILOV, P.; RADUNCHEVA, A. y PANAYOTOV, I. 1998: "Lead isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Data Base 5, ores From Bulgaria". *Archaeometry* 40(1): 217-226.
- STOS-GALE, Z.A.; GALE, N.H. y ZWICKER U. 1986: "The copper trade in the South-East Mediterranean region. Preliminary scientific evidence". *Report of the Department of Antiquities, Cyprus*. Nicosia: 122-144.

- STOS-GALE, Z.A.; GALE, N.H.; HOUGHTON, J. y SPEAKMAN, R. 1995: "Lead Isotope data from the Isotrace Laboratory, Oxford: Archaeometry Data Base 1, ores from the Western Mediterranean". *Archaeometry* 37(2): 407-415.
- SUÁREZ MÁRQUEZ, A.; LÓPEZ CASTRO, J.L.; AGUAYO, P.; CARRILERO, M.; y SAN MARTÍN, C. 1989: "Abdera: una colonia fenicia en el sureste de la Península Ibérica". *Madriider Mitteilungen* 30: 135-150.
- SUÁREZ PADILLA, J. 2006: "Indígenas y fenicios en el extremo occidental de la costa de Málaga. Siglos IX-VI a.C.". *Mainake* 28: 361-382.
- SVORONOS, J.N. 1909: "Leçons numismatique. Les premières monnaies, IV. Broches (obeloi) de fer; VI. Ancres de Chypre". *Revue belge de numismatique et sigillographie* 64: 113-129.
- SWAINBANK, I.G.; SHEPHERD, T.J.; CABOI, R. y MASSOLI-NOVELLI, R. 1982: "Lead isotopic composition of some galena ores from Sardinia". *Periodico di Mineralogia* 51: 275-286.
- TAVARES DA SILVA, C.; SOARES, J.; BEIRÃO, C.M.M.; FERRER DIAS, A. y COELHO SOARES, A. 1980-1981: "Escavações arqueológicas no Castelo de Alcácer do Sal (campanha de 1979)". *Setúbal Arqueológica* 6-7: 149-218.
- THOMSEN, C.J. 1836: *Ledetraad til nordisk oldkyndighed*. Kjöbenhavn.
- TODT, W.; CLIFF, R.A.; HANSER, A. y HOFMANN A.W. 1996: "Evaluation of a ^{202}Pb - ^{205}Pb double spike for high-precision Lead Isotope Analysis". *Geophysical Monograph* 95: 429-437.

- THORNTON, C.P. y REHREN, T. 2009: "A truly refractory crucible from fourth millennium Tepe Hissar, northeast Iran". *Journal of Archaeological Science* 36: 2700-2712.
- THORNTON, C.P.; REHREN, T. y PIGOTT, V.C. 2009: "The production of speiss (iron arsenide) during the Early Bronze Age in Iran". *Journal of Archaeological Science* 36: 308-316.
- TITE, M.S.; HUGHES, M.J.; FREESTONE, I.C.; MEEKS, N.D. y BIMSON, M. 1990: "Technological Characterisation of Refractory Ceramics from Timna". B. ROTHENBERG y H.G. BACHMANN (eds.): *The Ancient Metallurgy of Copper: Archaeology-Experiment-Theory*. Researches in the Arabah 1959–1984, Vol. 2: 158-75. IAMS, Institute of Archaeology. London.
- TORNOS, F. y CHIARADIA, M. 2004: "Plumbotectonic Evolution of the Ossa Morena Zone, Iberian Peninsula: Tracing the Influence of Mantle-Crust Interaction in Ore-Forming Processes". *Economic Geology* 99: 965-985.
- TORRES ORTIZ, M. 1996: "La cronología de los túmulos A y B de Setefilla. El origen del rito de la cremación en la cultura tartésica". *Complutum* 7: 147-162.
- TORRES ORTIZ, M. 1998: "La cronología absoluta europea y el inicio de la colonización fenicia en Occidente. Implicaciones cronológicas en Chipre y el Próximo Oriente". *Complutum* 9: 49-60.
- TORRES ORTIZ, M. 1999: *Sociedad y mundo funerario en Tartessos*. Bibliotheca Archaeologica Hispana 3. Real Academia de la Historia, Madrid.
- TORRES ORTIZ, M. 2002: "Los fenicios en el sudoeste de la Península Ibérica". B. COSTA RIBAS y J.H. FERNÁNDEZ GÓMEZ (coords.): *La colonización fenicia de Occidente: estado de la investigación en los inicios del siglo XXI. XVI Jornadas de Arqueología Fenicio-Púnica (Eivissa, 2001)*. Treballs del Museu Arqueologic

d'Eivissa e Formentera/Trabajos del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera 50. Conselleria de Cultura, Educació i Esports Govern Balear. Ibiza: 49-68.

TORRES ORTIZ, M. 2008a: "Los tiempos de la Precolonización". S. CELESTINO, N. RAFEL y X.L. ARMADA PITA (eds.): *Contacto cultural entre el Mediterráneo y el Atlántico (siglos XII-VIII ANE). La precolonización a debate*. Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma. Madrid: 59-91.

TORRES ORTIZ, M. 2008b: "The chronology of the Late Bronze Age in western Iberia and the beginning of the Phoenician colonization in the western Mediterranean". D. BRANDHERM y M. TRACHSEL (eds.): *Proceedings of the XV World Congress (Lisbon, 4-9 September). UISPP, Session C53. A New Dawn for the Dark Age? Shifting Paradigms in Mediterranean Iron Age Chronology*. Archaeopress, Oxford: 135-147.

TORRES RUIZ, J.; GERVILLA, F. y LEBLANC, M. 1991: "Mineralogía y comportamiento geoquímico del oro en los macizos lherzolíticos bético-rifeños (España y Marruecos)". *Estudios geológicos* 47: 281-293.

TYLECOTE, R.F. 1976: *A History of Metallurgy*. London.

TYLECOTE, R.F. 1987: *The early History of Metallurgy Europe*. Longman Archaeology Series, London & New York.

UHER, P., ŽITŇAN, P. y OZDÍN, D. 2007: "Pegmatitic Nb–Ta oxide minerals in alluvial placers from Limbach, Bratislava Massif, western Carpathians, Slovakia: compositional variations and evolutionary trend". *Journal of Geosciences* 52: 133-141.

URBINA, D.; MORÍN DE PABLOS, J.; RUIZ, L.; AGUSTÍ GARCÍA, E. y MONTERO RUIZ, I. 2007: "El yacimiento de Las Camas, Villaverde, Madrid.

Longhouses y elementos orientalizantes al inicio de la Edad del Hierro, en el valle medio del Tajo”. *Gerión* 25(1): 45-82.

VALERA, P.G., VALERA, R.G. y RIVOLDINI, A. 2005: “Sardinian ore deposits and metals from the Bronze Age”. F. LO SCHIAVO, A. GIUMLIA-MAIR, U. SANNA y R. VALERA (eds.): *Archaeometallurgy in Sardinia from the origin to the Early Iron Age*. Monographies instrumentum 30. Monique Mergoil, Montagnac: 43-87.

VALÉRIO, P.; SILVA, R.J.C.; ARAÚJO, M.F.; MONGE SOARES, A.M. y BARROS, L. 2012: “A multianalytical approach to study the Phoenician bronze technology in the Iberian Peninsula. A view from Quinta do Almaraz”. *Materials Characterizations* 67: 74-82.

VALÉRIO, P.; SILVA, R.J.C.; MONGE SOARES, A.M.; ARAÚJO, M.F.; BRAZ FERNÁNDEZ, F.M.; GREGÓRIO, A.; REBELO, P.; NETO, N.; SANTOS, R. y FONTES T. 2009: “The beginning of bronze metallurgy in southern Portugal. Preliminary results from Entre Águas 5 (Serpa)”. Póster presentado en ocasión del Congreso *TESME Arqueometalurgia: Aspectos tecnológicos, económicos y sociales en la Prehistoria reciente Europea (Madrid, 25-27 noviembre 2009)*. Inédito.

VEIGA, S.P.M., ESTÁCIO DA 1891: *Antiguidades Monumentais do Algarve*. Lisboa.

VELDHUIJZEN, H.A. y REHREN, T. 2007: “Slags and the City. Early Iron Production at Tell Hammeh, Jordan, and Tel Beth-Shemesh, Israel”. S. LA NIECE, D.R. HOOK y P.T. CRADDOCK (eds.): *Metals and Mines - Studies in Archaeometallurgy*. Archetype, British Museum. London: 189-201.

VILAÇA, R. 1995: *Aspectos do povoamento da Beira Interior (Centro e Sul) nos finais da Idade do Bronze*. Trabalhos de Arqueologia 9. IPPAR, Lisboa.

VILAÇA, R. 2006: “Artefactos de ferro em contextos do Bronze Final do território português: Novos contributos e reavaliação dos dados”. *Complutum* 17: 81-101.

- VILAÇA, R. 2011: “Ponderais do Bronze Final-Ferro Inicial do Ocidente Peninsular: novos dados e questões em aberto”. M^aP. GARCÍA-BELLIDO, L. CALLEGARIN y A. JIMÉNEZ DÍAZ (eds.): *Barter, Money and Coinage in the Ancient Mediterranean (10th-1st Centuries BC)*. Anejos de Archivo Español de Arqueología LVIII. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de Historia. Madrid: 139-167.
- VIVES-FERRÁNDIZ SÁNCHEZ, J. 2005: *Negociando encuentros: situaciones coloniales e intercambios en la costa oriental de la Península Ibérica (ss. VIII-VI a. C.)*. Cuadernos de Arqueología Mediterránea 12. Publicaciones del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona.
- VV.A.A. 2010: *Ciudad de la Justicia de Jaén. Excavaciones arqueológicas*. Consejería de Justicia y Administración Pública. Junta de Andalucía.
- WALDBAUM, J.C. 1978: “From bronze to iron”. *Studies in Mediterranean Archaeology* 54: 1-106.
- WALDBAUM, J.C. 1980: “The first archaeological appearance of iron and the transition to the Iron Age”. T.A. WERTIME y J.D. MUHLY (eds.): *The coming of the Iron Age*. Yale University Press: 69-98.
- WALDSTEIN, C. (ed.) 1905: *The Argive Heraeum*, Vol. 2. Boston & New York.
- WERTIME, T.A. y MUHLY, J.D. (eds.) 1980: *The coming of the age of iron*. New Haven, Yale University Press.
- WHISHAW, E. 1929: *Atlantis in Andalucia. A Study of Folk Memory*. London.
- YACAMÁN, M.J. y ASCENCIO, J.A. 2000: “Electron microscopy and its application to the study of archaeological materials and art preservation”: E. CILIBERTO y G. SPOTO (eds.): *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*. Chemical

Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications (Vol. 155). John Wiley & Sons, New York: 405-443.

YENER, K.A. 2000: *The Domestication of Metals: the Rise of Complex Metal Industries in Anatolia (c. 4500-2000 BC)*. Brill, Amsterdam.

YENER, K.A.; ADRIAENS, A.; EARL, B. y ÖZBAL, H. 2003: "Analyses of metalliferous residues, crucible fragments, experimental smelts and ores from Kestel tin mine and the tin processing site of Göltepe, Turkey". P.T. CRADDOCK y J. LANG (eds.): *Mining and Metal Production Through the Ages*. The British Museum Press, London: 181-197.

ZAMORA LÓPEZ, J.A.; GENE BASALLOTE, J.M^a; NAVARRO GARCÍA, M.A., PAJUELO SÁEZ, J.M. y TORRES ORTIZ, M. 2010: "Epígrafes fenicios arcaicos en la excavación del Teatro Cómico de Cádiz (2006-2010)." *Rivista di Studi Fenici* 38(2): 203-236.

